

RÖNTGENKINEMATOGRAPHISCHE
UNTERSUCHUNGEN ÜBER BEWEGUNGEN DES
GESUNDEN UND ERKRANKTEN
NIERENHOHLRAUMSYSTEMS

PAUL KERSCHER

1971



Digitized by the Internet Archive
in 2026

AUS INSTITUT UND POLIKLINIK FÜR PHYSIKALISCHE THERAPIE
UND RÖNTGENOLOGIE DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
RIEDER-INSTITUT

Direktor: Professor Dr. med. H. v. Braunbehrens

RÖNTGENKINEMATOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN
ÜBER BEWEGUNGEN DES GESUNDEN UND ERKRANKTEN
NIERENHOHLRAUMSYSTEMS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
P a u l K e r s c h e r
aus Moosburg

München 1970

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Prof.Dr.F.E.STIEVE
Korreferent: Prof.Dr.H.v.BRAUNBEHRENS
Dekan: Prof.Dr.W.SPANN

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Okt. 1971



MEINEN LIEBEN ELTERN
IN DANKBARKEIT GEWIDMET

I N H A L T

I. EINLEITUNG

II. ALLGEMEINER TEIL

1. Anatomie und Physiologie des Nierenhohlraum-systems
2. Dynamik des normalen Nierenhohlraumsystems
3. Pathologische Einwirkungen auf das NHS

III. METHODIK

1. Arbeitsgang
2. Röntgen- und kinematographische Apparatur
3. Höhe der Röntgenstrahlendosis für den Arbeitsgang
4. Zeit- und Wegemessung
5. Apparatur zur Bildauswertung
6. Methodik der Zeichenauswertung

IV. ERGEBNISSE

1. Auslösung einer Nierenbeckenkontraktion
2. Ursprung der Nierenbeckenkontraktion
3. Ablauf der Nierenbeckenkontraktion
4. Bewegungen der Nierenkelche und -kelchhalse
5. Pathologische Störungen der Nierenbecken-entleerung
6. Mitgeteilte Bewegungen

V. DISKUSSION

VI. ZUSAMMENFASSUNG

I. EINLEITUNG

Trotz jahrzehntelanger Bemühungen ist es bis jetzt noch nicht gelungen, eine einheitliche Vorstellung über die Bewegungen des Nierenhohlraumsystems zu erhalten, denn ihre Analyse ist technisch schwierig. Erste Beobachtungen von Bewegungen am Nierenbecken wurden an exstirpierten Nieren von ISRAEL durch Palpation gemacht, später ebenso von WESTENHÖFER, WASSINK und A. SCHMIDT. Die gleichen Beobachtungen machten PROTOPOPOW und HAEBLER auch am Tier. Die von VOELKER und LICHTENBERG 1906 eingeführte Pyelographie ermöglichte, durch Einbringen eines Kontrastmittels in die Harnwege, die Darstellung mit Röntgenstrahlen, was in der anatomischen röntgenologischen Diagnostik der Harnwege einen großen Fortschritt bedeutete. Aber eine genauere Aussage über den Bewegungsablauf in den Harnwegen wurde erst durch die Urokyrnographie von MAINTZ und Mitarb., durch die Pyeloskopie von LEB; SIMONSON und LISOSKEJA; HERBST und MERIO, durch die Ausscheidungs-pyelographie mit Serienbildern von LOSSEN; LAUBER und SCHERER und in neuerer Zeit durch kinematographische Untersuchungen gewonnen. Die Kinematographie brachte bisher die genauesten Aussagen über die Bewegungsabläufe in den ableitenden Harnwegen. Es liegt eine größere Reihe von kinematographischen Arbeiten vor, die sich vorwiegend mit den normalen Entleerungsvorgängen im gesunden Nierenhohlraumssystem befassen; hier seien u. a. HANLEY; CATEL und GARSCHÉ; NOIX und Mitarb.; BODNER; BENJAMIN; SUJANA; MITSUYA; BOYARSKI; JANKER; SIELAFF; CAMPBELL; DÜX, THURN und KISSELER; und RECKER und POLLACK erwähnt. Nur wenige der angeführten Autoren beschäftigten sich jedoch mit der funktionellen Pathologie des Nierenhohlraumsystems. Auf der Grundlage bisher bekannter

Beobachtungen und gestützt auf eigene Untersuchungsergebnisse soll diese Arbeit über die Bewegungen am gesunden und über Motilitätsstörungen am erkrankten Nierenhohlraumssystem aussagen und sie zur Diskussion stellen.

II. ALLGEMEINER TEIL

1. Anatomie und Physiologie des Nierenkohlraumsystems

Die ableitenden Harnwege beginnen eigentlich mit den Sammelröhren des Nierenparenchyms. Diese vereinigen sich zu einem *Ductus papillaris*, deren jeweils 10 - 30 auf einer Pyramidenpapille, *Papillare renalis*, einmünden, so daß dort das Bild eines kleinen Siebes entsteht, *Area cribrosa*. Etwa 1 - 3 Nierenpapillen, die die Spitzen der Nierenpyramiden darstellen, werden von einem kleinen Nierenkelch, *Calix minoris*, umfaßt, so daß der Harn darin wie in einem kleinen Trichter aufgefangen wird. Durchschnittlich 2 solcher kleiner Nierenkelche münden über ihre Kelchhalse in die großen Kelche, *Calices majores*. Im Maximum kommen 6 und im Minimum 2 große Kelche zur Ausbildung. Im Pyelogramm sind in der Regel nur 2 - 3 sichtbar, da in der Aufnahmeebene nur so viele zur Darstellung gelangen. Diese wiederum vereinigen sich über ihre eigenen Kelchhalse, im angelsächsischen Schriftum als *Infundibulum* bezeichnet, im Nierenbecken, das selbst wieder die Trichterform der Kelche wiederholt, jedoch abgeplattet ist. Das Nierenbecken kann von recht unterschiedlicher Form sein. Als Extreme werden ein dendritischer Typ einem ampullären Typ gegenübergestellt, wobei der verzweigte Typ der häufigere ist. Das dendritische Nierenbecken ist entwicklungsgeschichtlich jünger als das ampulläre: Letztere kann durch Reduktion der dichotomen Verästelung entstehen, d.h. der Ureter erweitert sich zu einem platten Sack, dem die einzelnen Nierenkelche direkt aufsitzen. Der Übergang des Nierenbeckens zum Ureter, von vielen Autoren als unterschiedliche Stelle angegeben, siehe

OECONOMOS; LEGUEU; CAMPBELL; und BORGARD, manifestiert sich im Röntgenbild nicht als morphologische Grenze, hat aber eine funktionelle Bedeutung, indem er das Nierenbecken während der Füllungspause vom Ureter trennt, SIELAFF; KÄHLER.

Die Papillen sind von einem einschichtigen kubischen Epithel überzogen, das an der Umschlagstelle zum Kelch mehrschichtig wird. Die Kelche und das Nierenbecken sind vom sogenannten Übergangsepithel der ableitenden Harnwege ausgekleidet, das bei der Dehnung zweischichtig wird.

In dem darunterliegenden lockeren Bindegewebe, das reichlich elastische Fasern enthält, ist die glatte Muskulatur zu einer Art kontinuierlicher Muskelschraube mit innerer longitudinaler, mittlerer zirkulärer und äußerer longitudinaler oder schräger Verlaufsrichtung der Muskelfasern angeordnet, BENNINGHOFF - GOERTTLER; STÖHR, v. MÖLLENDORF, GOERTTLER. Wegen der dazwischengelagerten bindegewebigen und elastischen Fasern ist eine exakte Trennung in Muskelschichten nicht möglich, da diese zusätzlich noch untereinander in Verbindung stehen, STEIGLEDER; W. SCHNEIDER. Unterschiedliche Steigungswinkel und Verlaufsrichtungen der Fasern mit Überkreuzungen, W. SCHNEIDER, können die Ursache von Sphinkterbildungen sein, deren mehrere beschrieben worden sind:

1. HENLE'scher Ringmuskel an der Papillenbasis,
Sphincter papillae sup., bestätigt von LUSCHKA; CURVEILLIE; RAUBER; BARDELEBEN u.a. .
2. DISSE'scher Ringmuskel an der Papillenspitze,
Sphincter papillae inf. .
3. Ringmuskel an der Einmündung des Kelches in das Nierenbecken.

4. Ringmuskel an der Einmündung des Beckens in den Ureter, OECONOMOS, auch Sphincter souspyelique oder uretero-pelvic junction genannt (s. Abb. 1).

Diese Muskelschicht ist außen von der tunica adventitia umgeben.

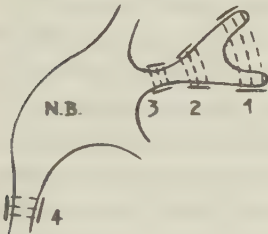


Abb. 1:

- 1 = HENLE'scher Ringmuskel
- 2 = DISSE'scher Ringmuskel
- 3 = Ringmuskel am Kelchhals
- 4 = Ringmuskel am Ureterabgang

Die Nieren liegen primär retroperitoneal an der ventralen Fläche der dorsalen Bauchwand in Höhe von D 12 - L 3 rechts und D 11 - L 2 links. Die Längsachsen beider Nieren divergieren nach caudal. Am medialen Rand befindet sich der Hilus renalis. Im Bereich des Hilus zeigt die Nierenoberfläche eine tiefe Grube, S i n u s r e n a l i s , in ihr liegt das Nierenhohlraumssystem von Baufett umgeben. Am Hilus tritt die A. renalis ein, die vv. renales und der Ureter aus. Von diesen Gebilden liegt der Ureter am weitesten dorsal.

Die Gefäßversorgung des Nierenhohlraumssystems und des proximalen Ureters erfolgt aus der A. renalis. Der Venenplexus in der Adventitia des Nierenbeckens und des prox. Ureters, der durch zahlreiche Anastomosen mit dem intra- und submucösen Venengeflecht in Verbindung steht, haben analog zu den Arterien ihren Abfluß in die vv. renales.

Lymphgefäße finden sich nach SAKATA sehr reichlich in der Muskularis, nach KRAUSE auch in der Submucosa und Mucosa. Sie münden in die Lymphonoduli aortici. Daneben bestehen noch Lymphverbindungen zu Ureter und

Blase. Dies ist für den Infektionsweg von Bedeutung. Nerval wird das Nierenbecken-, -kelch- und Harnleitersystem von zahlreichen extra- und intramural gelegenen zellulären und fibrillären Elementen des vegetativen Nervensystems versorgt, HAEBLER, WESTENHÖFER, v. MÖLLEN-DORF, ZANNE, OECONOMOS, STÖHR, RULAND. Nach Arbeiten von ZANNE und HAEBLER u.a. sollen sich spärliche bipolare Ganglienzellen in der Umgebung des Nierenbeckens und oberen Ureterabschnittes befinden. HRYNTSCHAK, STÖHR und RULAND konnten keine Ganglienzellen beobachten, aber viele markhaltige und vorallem marklose Nervenfasern aus dem extramural gelegenen Plexus renalis nachweisen. Im Plexus renalis, der den Gefäßstiel der Niere umgibt, finden sich sympathische Fasern des Splanchnicus maior und minor, sowie parasympathische des Vagus, die aus dem Plexus solaris (Ggl. coeliacum) stammen. Der Plexus renalis enthält auch noch afferente (sensible) Fasern, die von den Nierengefäßen, der Nierenkapsel, der Nierenbeckenmuskulatur und dem oberen Ureterdrittel kommen. Eine Reizung der sympathischen Fasern bewirkt eine Tonusverminderung im Nierenbecken und Harnleiter, die der parasympathischen eine Tonuserhöhung, RULAND 1956. SATANI 1919, und BAUER 1939, wollen beobachtet haben, daß das Nierenbecken vorwiegend sympathisch versorgt wird, d.h. daß bei Sympathikusreizung eine Tonuserhöhung festzustellen sei. Die glatte Muskulatur erhält von sich aus einen Tonus aufrecht und kann Spontanbewegungen ausführen, wie Beobachtungen an frisch herausoperierten Nierenpräparaten zeigen, ISRAEL, SCHMIDT. RULAND bewies an Hand neurohistologischer Untersuchungen bei pathologischen Zuständen wie Hydronephrose, Hydroureter, Blasendystonie, daß neben dieser Autonomie der glatten Muskulatur zusätzlich ein neurovegetativer Reflexmechanismus am normalen Entleerungsvorgang der ableitenden Harnwege beteiligt ist.

2. Dynamik des normalen Nierenhohlraumsystems

Im Schrifttum findet man viele Abhandlungen, die sich mit dem Bewegungsablauf an Nierenkelchen, -becken und Harnleiter befassen. Die sich dabei widersprechenden Beobachtungen machen es schwierig eine einheitliche Vorstellung über den Bewegungsablauf zu gewinnen. Ein Grund für diese sich widersprechenden Angaben mag wohl darin zu finden sein, daß viele Untersuchungen unter unphysiologischen Bedingungen gemacht wurden. Zum Beispiel waren Untersuchungen an menschlichen Nieren lange Zeit nur an exstirpierten und deshalb mehr oder weniger krankhaft veränderter Organe möglich. Auch die retrograde Pyelographie setzt unphysiologische Reize, wie Ureterenkatheterismus, Injektion des Kontrastmittels, was auch von allen Autoren, die sich dieser Methodik bedienten, betont wird. Deshalb lehnen BOEMINGHAUS und PFLAUMER ein Studium physiologischer Vorgänge bei dieser Untersuchungsart ab. Ebenso kritisch muß man die Beobachtungen bei Operationen bewerten, da bereits die Narkose oder Plexusanästhesie Motilitätsstörungen hervorrufen kann.

Als die physiologische Art darf man heute die Ausscheidungsurographie bezeichnen, bei der Kontrastmittel intravenös gegeben und durch die Niere ausgeschieden wird. Die Aussagen über die Art der Bewegungen erhält man dabei mit Hilfe von Serienaufnahmen, der Kymographie oder der Kinematographie.

Um bei der Vielfalt der Meinungen eine objektive Aussage über die Bewegungen des Nierenhohlraumsystems zu erhalten, ist es wohl am Besten die bisher mitgeteilten Forschungsergebnisse gegenüberzustellen und zu vergleichen.

Bewegungen des Nierenbeckens

Die Nierenbecken und -kelche bilden jede für sich eine funktionelle Einheit; ihre Bewegungen erfolgen nicht nur in der rechten und linken Niere, sondern auch auf der gleichen Seite unabhängig voneinander. Der Entleerungsvorgang richtet sich lediglich hinsichtlich Häufigkeit und Ausmaß nach der Größe des Beckens, der sezernierten Harnmenge, dem Füllungsdruck im Becken und nach den Druckverhältnissen im Ureter bzw. den Abflußmöglichkeiten. LAUBER und SCHERER charakterisieren den Bewegungsmodus der Kelche und des Nierenbeckens als eine totale oder segmentäre Kontraktion. Dabei verändert das Nierenbecken seine Form, indem es sich parenchymwärts kontrahiert. Es zieht sich gewissermaßen über den Inhalt zurück, der dadurch in den Harnleiter entleert wird. SACK und WÜLLENWEBER teilen den gleichen Vorgang in eine Systole (Leerphase oder Kontraktionsphase) und eine Diastole (Füllungsphase) ein. Die gleiche Beobachtung machten auch HERBST und MERIO. PFEIFER gibt für die Dauer der Systole des Nierenbeckens im Durchschnitt $1 - 1\frac{1}{2}$ Sekunden und für die der Diastole 2 - 3 Sekunden an. Die zwischen den einzelnen Kontraktionen liegende Zeitspanne nennt er Ruhephase und legt ihre Dauer im Durstzustand auf etwa 17 Sekunden fest. Aber nicht alle Forscher schließen sich dieser Deutung an und glauben nachweisen zu können, daß sich die Entleerung der Kelche und des Nierenbeckens in Form einer peristaltischen Welle abspiele, die sich im Ureter bis zur Harnblase fortsetzt. Diese Ansicht vertraten als erste LEQUEU und FEY an Hand der Pyeloskopie. Vor allem die Japaner, ICHIKAWA; TSUJI, glauben diese Bewegungsart feststellen zu können. Ihre Ansicht wird noch bekräftigt durch neuere Arbeiten von MITSUYA und Mitarb.; BECKER und POLLACK, die ihre Ergebnisse mit Hilfe der Kinematographie gewannen.

MITSUYA schreibt: "Bei 25 aufgenommenen Kinepyelogrammen ergab sich eine peristaltische Aktivität des oberen Harntraktes. Periodische peristaltische Kontraktionen verlaufen vom Fornix über die Kelche und das Nierenbecken zum oberen Anteil des Harnleiters."

BECKER und POLLACK beobachten: "Nur eine kleine Menge des Kontrastmittels im Nierenbeckenkelchsystem wird durch eine peristaltische Welle in den Ureter entleert. Dies ist bei beiden Nierenbeckentypen gleich, jedoch mit unvollständiger Entleerung des ampullären Beckentyps."

Demgegenüber stehen wiederum Ergebnisse, die ebenfalls mit der Kinematographie gemacht wurden. CATEL und GARSCHÉ deuten die Nierenbeckenbewegung als eine konzentrisch gerichtete tonische Zusammenziehung, die zu einer bedeutenden Verkleinerung des Beckens führt, wobei sich der Harn wie aus einem Ball, der zusammengepreßt wird, in den Ureter ergießt. Sie schließen sich damit der Auffassung von LAUBER und SCHERER und den anderen bereits oben angeführten Autoren an. Zusätzliches Gewicht erhält diese Auffassung durch die Arbeit von DÜX, THURN und KISSELER, die die Entleerung des normalen Nierenbeckens als eine in Bruchteilen von Sekunden bis maximal 2 Sekunden ablaufenden Vorgang nennen, mit vorwiegend konzentrischer Verkleinerung des gesamten Nierenbeckens infolge Tonuserhöhung bei passagerem Verschuß der Disse'schen Sphinkter. Hierbei ziehen sich ampulläre Becken langsamer infolge konzentrischer Tonuserhöhung nach Art einer isometrischen Kontraktion über ihrem Inhalt zusammen, während sich kleinere Becken schlagartig verkleinern. Die Kontraktionsphase des Beckens ist zeitlich begrenzt. Eine rhythmische und peristaltische Kontraktion bzw. Entleerungsform des Beckens besteht jedoch nicht.

Zu dieser Art Bewegung des Nierenbeckens, die zur Kontraktion, bzw. zur Dilatation führt, unterscheidet BAENSCH eine zweite Bewegungsart, die zusätzlich während der ersten eine Lageverschiebung gegen die Umgebung bewirkt. Hierbei wird das Nierenbecken gehoben und in den Hilus zurückgezogen. Diese Beobachtung machten auch HERBST und MERIO; LAUBER und SCHERER und auch PFEIFER. Andere Autoren konnten diese Ansicht nicht bestätigen oder gingen nicht auf sie ein. Zu einer gegenteiligen Ansicht gelangen CATEL und GARSCHKE, die ihre Untersuchungen an Schulkindern vornahmen und feststellten, daß jede konzentrische Tonussteigerung des Nierenbeckens stets mit einem Absteigen desselben einhergeht..

Bewegungen der Nierenkelche und -halse

Ähnliche Differenzen finden sich auch bei den Nierenkelchbewegungen. Auch hier sind es die gleichen Autoren, die sich für eine peristaltische oder tonische Entleerungsform des Harns aus den Kelchen in das Nierenbecken aussprechen. Entsprechend der größeren Zahl der Kelche treten hier jedoch auch vermehrte Probleme auf. Die Aufgabe der Kelche ist allgemein den aus den Nierenpapillen sezernierten Harn aufzunehmen und in das Nierenbecken weiterzuleiten. Wie gelangt der Harn aus den Harnkanälchen in die Kelchschalen (Fornices)? Hierüber gibt es nur spärliche Aussagen. Man weiß, daß die Wand der Harnkanälchen keine glatte Muskulatur enthält und deshalb keine eigene aktive Kraft aufbringen kann. Deshalb kommt zweifellos dem effektiven Filtrationsdruck eine wichtige Rolle zu, dessen Größe der Differenz zwischen glomerulären Kapillardruck und dem kolloid-osmotischen Druck der Bluteiweißkörper entspricht. WESTENHÖFER richtete seine Aufmerksamkeit besonders auf die die Nierenpapillen umgebenden Kelchschalen und spricht ihnen eine "melkende Einflußnahme" (Melktheorie)

auf die Ductuspapillares zu. HAEBLER stimmt dieser Theorie zu, die aber sonst von anderen Autoren abgelehnt wird. Ebenso von DÜX, THURN und KISSELER, die aber vermuten, daß nach aktiver Entleerung eines Calix minor und Verschuß des HENLE'schen Sphinkters in der folgenden Auffüllungsphase es zur Sogwirkung auf die Ductus papillares kommen kann, d.h. zur passiven Auffüllung infolge stärkeren Druckgefälles. Einen experimentellen Nachweis erbringen als einzige CATEL und GARSCHÉ durch kinematographische Aufnahmen. Sie stellen bei Kindernieren fest, daß die Kelchschalen sehr häufig rasche Bewegungen ausführen, denen das Auge des Beobachters kaum zu folgen vermag und die sie als "flimmernde oder pendelnde" bezeichnen. Ihre Auswertungen ergeben, daß der Tonus der Muskulatur im Fornixbereich in sehr kurzen Intervallen ($1/16 - 5/16$ sec) zu- und abnimmt, wodurch ein Bewegungsrhythmus entsteht, der durchaus einem Wechsel von Systole und Diastole vergleichbar ist. Sie glauben, daß dieser Flimmerbewegung die Aufgabe zufällt, die Entleerung des Urins aus den Ductus papillares zu unterstützen. Aber bei diesen kleinen Bewegungen, die sich im Millimeterbereich vollziehen, ist es sehr schwierig, auch mit Hilfe der Kinematographie exakte Werte zu erhalten. Gute Aussagen ermöglichte jedoch die Kinematographie bei den sonst noch zu beobachtenden Bewegungen der Nierenkelche. Hier richtet sich die Aufmerksamkeit vor allem auf die Funktion der Sphinkteren, dem Wechselspiel der Kelche untereinander und dem Zusammenspiel von Nierenkelchen und Nierenbecken. Da diese Bewegungen immer irgendwie im Zusammenhang stehen und sich niemals scharf für sich trennen lassen, ergibt dies eine große Variationsbreite für die Funktionszustände der Nierenkelche. Dementsprechend groß sind deshalb auch die von den verschie-

denen Autoren gemachten Beobachtungen. Daß die einzelnen Kelchgruppen und Kelche in ihren Bewegungen voneinander unabhängig sind, konnte SCHEELE bereits 1926 feststellen. Nach LAUBER und SCHERER geschieht diese Entleerung der meist vorhandenen oberen und unteren Kelchsysteme fast immer im Sinne der paradoxen Reaktion, d.h. bei Weitstellung des unteren kontrahiert sich das obere Kelchsystem und umgekehrt. CATEL und GARSCHKE beobachten zusätzlich noch, daß auch teilweise eine synchrone Verhaltensweise aller Kelchsysteme möglich ist. Auch die Calices minores sind nach DÜX und Mitarbeitern in einem gewissen Sinne autonom. Sie stellen fest, daß die Calices maiores sich von den zugehörigen Calices minores auffüllen, die entweder abwechselnd oder gleichzeitig durch die Öffnung des HENLE'schen Sphinkters in Bruchteilen von Sekunden fast ihre gesamte Harnportion aktiv in den Kelchhals ergießen, so daß sie nur noch mit geringem Kontrast abzugrenzen sind. Weiter können sie sich während einer Beckenfüllungs- und -entleerungsphase unabhängig voneinander und in unterschiedlichem Ausmaß auffüllen und entleeren. Entscheidend sind für ihn dabei das Harnangebot aus der entsprechenden Nierenpapille und die hydrostatischen Druckverhältnisse im ableitenden Harnsystem. Auffälligerweise sind die einzelnen Nierenabschnitte abwechselnd mehr oder weniger an der Harnproduktion beteiligt. Die Calices des mittleren und oberen Nierenpols werden in der Zeiteinheit häufiger gefüllt und entleert als die des unteren Nierenpols. Für PFEIFER haben die Nierenkelche ebenfalls einen unabhängigen eigenen Bewegungsrhythmus, aber im Gegensatz zu DÜX unterliegen bei ihm die Nierenkelche während der systolischen und diastolischen Bewegung dem Nierenbecken und zwar erfolgt bei jeder Nierenbeckensystole eine Erweiterung ihres subpapillären Raumes und eine Verengung oder - besonders bei Frauen - eine Erweiterung ihres Kelchhalses.

Vor PFEIFER konnten bereits MAINTZ und WÜLLENWEBER feststellen, daß die Nierenbeckenkelche während der Diastole des Nierenbeckens geöffnet und während der Systole geschlossen sind. Diese Beobachtungen veranlassten JOHNSON die oberen Harnwege in kleine "PASCAL-Einheiten" aufzuteilen, von denen jede mit einer individuellen Kontraktionsschwelle ausgestattet ist, dargestellt durch die Sphinkteren, welche in den Kelchen, Kelchhälsen, am Ureterabgang und in der Uretermündung lokalisiert sind. Er stellt dazu die Regel auf, die besagt, daß Druck von oben neigt, den Sphinkter zu öffnen und Druck von unten ihn zu schließen. Er nimmt an, daß dadurch der Rückfluß verhindert wird und die Kontraktion segmentweise vom Kelch bis zur Harnblase fortschreitet. Ganz im Gegensatz dazu bedeutet für BECKER und POLLAK der Nierenbeckenkelchreflex einen wichtigen Faktor für die normale Aktivität der oberen Harnwege. MITSUYA und Mitarb. konnten nicht einmal eine Sphinkteraktion an der Nierenbeckenkelchöffnung und am Harnleiterabgang feststellen und für sie ist ein Zurückfließen unbedingt notwendig, um einen regulären inneren Druck zu erhalten und zu vermeiden, daß sich schädliche Auswirkungen an der Nierenpapille ereignen können. Für TSUJI hingegen ist der Kelchhalssphinkter der letzte und stärkste der Kelchringmuskeln. KIIL, der urometrisch in fast allen seinen Fällen fand, daß durch hydrostatischen Druck keine Fluktuationen in den Kelchen und im Nierenbecken ausgelöst werden können, schließt aus seinen Ergebnissen, daß die Kontraktionen der Kelche keine Beziehung mit denen des Nierenbeckens haben; keine sinnvolle funktionelle Zusammenarbeit zwischen Kelchen und Nierenbecken nötig ist, um schädliche Auswirkungen auf die Nierenfunktion zu vermeiden, und daß die Aktivität der Kelchsphinkteren offensichtlich eine untergeordnete Rolle beim Urintransport hat.

Entleerungsvarianten des Nierenhohlraumsystems

Alle Bewegungen des Nierenbeckens und der -kelche dienen letzten Endes der Austreibung des Harns aus dem Nierenhohlraumssystem. CATEL und GARSCHKE haben drei Varianten feststellen können, nach denen sich das Nierenhohlraumssystem entleert.

- a) Der Harn fließt gleichmäßig aus den weiten und gutgefüllten Nierenkelchen durch den offenen Ureterabgang in den Harnleiter, dabei ist nirgends eine Einengung oder Verschluss des Lumens erkennbar.
- b) Die Einmündungsstellen, wenigstens der beiden oberen Kelchsysteme, sind segmentär völlig verschlossen. Eine konzentrische tonische Zusammenziehung des Beckens presst den Harn in den Ureter.
- c) Ein Kelchsystem zieht sich heftig bis zum Verschwinden der Rohrlichtung zusammen und entleert sich durch das mittelweite Nierenbecken in den Ureter.

Die Variante a) ist die häufigste, die Varianten b) und c) fördern aber das größte Flüssigkeitsvolumen.

Nach einer maximalen Kontraktion eines Nierenbeckens setzt sofort die Auffüllung desselben durch die Nierenkelche ein. DUX und Mitarbeiter beobachteten, daß die verschiedenen Kelchgruppen - entsprechend dem physiologischen Druckgefälle - meist alternierend ihren Inhalt durch Tonusvermehrung innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde ins Becken entleeren. An der Auffüllung des Nierenbeckens können aber auch alle Kelchgruppen gleichzeitig beteiligt sein. Bis zur Auffüllung des Nierenbeckens kann sich derselbe Kelch in Abhängigkeit von der Beckengröße und der Restharmmenge auch mehrmals entleeren.

Ort des Kontraktionsbeginnes

Auch bei der Auslösungsursache, bzw. dem Beginn einer Nierenbeckenkontraktion gibt es verschiedene Möglichkeiten. CAMPBELL beschreibt bei 76 % seiner Fälle eine erste wahrnehmbare Bewegung am Ureterabgang, der aber nur eine peristaltische Bewegung des Ureters distal dieses Punktes folgte. Bei den restlichen 24 % der Fälle wurden Kontraktionen erst am Nierenbecken oder am Kelchhals oder an beiden gleichzeitig sichtbar, die darin resultierten, daß das Kontrastmittel in den oberen Ureterabschnitt und die Kelche gepreßt wurde. BECKER und POLLACK bezeichnen die Stelle des Kontraktionsbeginnes als Schrittmacher. Danach liegt bei dendritischen Becken der Schrittmacher am oberen Kelchhals und beim ampullären Becken entlang der medialen Nierenbeckenwand. SCHMIDT, POLLACK und OSWALD konnten herausfinden, daß sich die Initialkontraktion des Ureters nicht nur blasenwärts fortsetzt, sondern auch rückläufig die Muskulatur des Nierenhohlraumsystems ergreift, wobei es noch zur Kontraktion der Kelchhälse kommen kann. Die Häufigkeit, mit der die einzelnen Kontraktionen des Nierenbeckens aufeinander folgen, wird ebenfalls von Autor zu Autor verschieden angegeben. PFEIFER gibt, wie bereits oben angeführt, eine durchschnittliche zeitliche Distanz von 17 Sekunden an, wird aber von anderen Autoren bis zu mehreren Minuten angegeben. Übereinstimmung herrscht nur darin, daß bei aufrechtem Stand oder in Bauchlage die Aufeinanderfolge der Nierenbeckenkontraktionen gegenüber der Rückenlage wesentlich vermehrt ist. Diese Fälle der verschiedenen Möglichkeiten der Bewegungen im Nierenhohlraumsystem, die von vielen Autoren beobachtet und beschrieben wurden, lassen erkennen, daß der Bewegungsmodus eines einzelnen Nierenhohlraumsystems nicht in ein einziges starres Schema untergebracht werden

kann, nach der ein Bewegungsablauf zu erfolgen hat, sondern daß jedes Nierenhohlraumssystem einen Bewegungskarakter aufweist, der von verschiedenen Faktoren bestimmt wird. Diese Tatsache schließt jedoch nicht aus, daß gewisse Gesetzmäßigkeiten auf alle Nierenhohlraumssysteme zutreffen.

3. Pathologische Einwirkungen auf die Bewegungen des Nierenhohlraumsystems

3.1. Entzündliche und toxische Einflüsse

Der verhältnismäßig einfache Aufbau des Nierenhohlraumsystems läßt eigentlich nicht vermuten, daß die Entleerung des Nierenbeckens und seiner Kelche keineswegs immer reibungslos vonstatten geht. Die Entleerungskontrollen des kontrastgefüllten Nierenhohlraumsystems unter dem Röntgenschirm oder bei Spätaufnahmen nach Urokymogrammen zeigen häufig Stockungen am Harnleiterabgang und an den Kelchhälsen. Diese sind oft nur von kurzer Dauer, können aber oft auch Stunden und Tage anhalten. BORGARD macht hierfür ausschließlich spastische Vorgänge verantwortlich, da er feststellen konnte, daß bei allen seinen Fällen die vorherige Kontrastauffüllung vom Harnleiter aus ohne Hindernis erfolgt war, also keinerlei organische Veränderungen wie Stenosen, Strikturen oder Adhäsionen vorlagen. Auch PRIMBS erzielte durch Einspritzen von verdünnten Toxinen aus Kolibakterien und Staphylokokken in überlebende Harnleiter von Meerschweinchen Reizperistaltik und Spasmen. Einspritzung konzentrierter Toxinlösungen ergab sogar eine Lähmung der Ureterfunktion mit Atonie und Aperistaltik. HECKENBACH glaubt, daß auch fernegelegene toxische Prozesse Motilitätsstörungen an den ableitenden Harnwegen hervorrufen und bekräftigt hiermit den Begriff der Irritation. Andererseits können nach BOSHAMER auch Erkrankungen der Harnorgane, wie z.B. "ruhende Harnsteine" reflektorisch

Magen- Darmstörungen hervorrufen.

Das häufige gemeinsame Auftreten von Nierensteinen mit Geschwüren am Magen und Duodenum bekräftigen diese Vermutung. Auch für MAINTZ und WÜLLENWEBER scheint eine extrem lange Leerzeit - im Sinne einer spastischen Kontraktion - krankhaft zu sein. Bei leichtem Grade entzündlicher Reizung der Harnwege konnten sie auch die umgekehrte Abweichung feststellen: Die Füllungszeit (Diastole) des Harnleiters ist zeitlich länger dauernd als die Leerzeit (Systole), was normal umgekehrt ist. STIEVE macht bei der Pyelonephritis eine genauere Einteilung für die Motilität des Nierenhohlraumsystems. Danach ist bei der akuten Pyelonephritis die Motilität im allgemeinen gehemmt, bei der subakuten Form verlangsamt, bei der chronischen Form ohne Destruktionen stark verlangsamt und mit Destruktionen aufgehoben. Die Motilitätsstörungen auf entzündlicher und toxischer Basis werden heute ziemlich einheitlich beurteilt und können schon heute als geklärt gelten.

3. 2.Mechanische Einflüsse

Die mechanischen Einflüsse sind eine der häufigsten Ursachen für Abflußbehinderungen. Sie gewinnen noch an Bedeutung, da sie von einer leichten Abflußbehinderung bis zur totalen Stauung des Nierenhohlraumsystems führen können. Als häufigste Faktoren kommen dabei in Betracht:

- a) Eine prall gefüllte Blase (z.B. bei Prostatahypertrophie). Sie verursacht eine verminderte Sekretion der Niere, Hypotonie und Hyperkinese des Harnleiters.
- b) Nierensteine, hierbei darf nicht vergessen werden, daß gerade sie ebenso wie die Entwicklung ascendierender Harninfekte, eine Folge bereits bestehender Abflußbehinderung sind.

c) Tumoren, die sowohl im ableitenden System entstanden sind, als auch solche, die in anderen Gebieten entstanden, darauf wirken.

d) Nierengefäße.

Der sehr wechselnde Verlauf der Nierengefäße, besonders das Vorkommen atypischer zum unteren Nierenpol ziehender Gefäße, bringt häufig eine mechanische Behinderung des Harnabflusses mit sich, die besonders wirkungsvoll ist, wenn Gefäße hinter dem Harnleiterabgang zur Vorderwand der Niere verlaufen oder umgekehrt, der Harnleiter also in beiden Fällen auf dem Gefäßstrang reitet. So gelang der Nachweis, daß die Schwangerschafts-pyelitis ausnahmslos auf diese Ursache mit einer nachfolgenden lymphogenen Koliinfektion vom Darm aus zurückzuführen ist. Die therapeutischen Erfolge bewiesen, daß die früher angenommenen Faktoren, wie Kompression des Ureters, Veränderungen der Harnleiterwand usw. für das Zustandekommen des Krankheitsbildes gegenstandslos sind. Neben dieser direkten Wirkung der Nierengefäße auf den Harnabfluß können Gefäße, die aus der A. renalis oder akzessorisch aus der Aorta entspringend, den Ringmuskel am Ureterabgang kreuzen und zum unteren Nierenpol ziehen, durch ihre Pulsationen eine Auslösung oder Steigerung spastischer Reaktionen des Nierenbeckenschließmuskels bewirken und somit indirekt eine Abflußbehinderung darstellen (BORGARD).

Ob nun ein Harnabflußhindernis spastischer, mechanischer oder kombinierter Art ist, bleibt in seiner Wirkung belanglos. Immer wird es zu Stauungen im Nierenhohlraumsystem führen, die verschiedene Stauungskomplikationen mit sich bringen. Die auffälligste Komplikation stellt die Hydronephrose dar. Diese entsteht aber nur, wenn ein gewisser Schutzreflex versagt, der bei bestehender

Harnstauung reflektorisch die Nierendurchblutung und damit die Harnproduktion drosselt. Bei überschwelliger Reaktion dieses Schutzreflexes, z.B. bei plötzlicher Steineinklemmung, kann er auf die andere Niere übergreifen und eine reflektorische Anurie erzeugen. Als weitere Stauungskomplikation darf wohl die Stauungsblutung angesehen werden. Es konnte experimentell nachgewiesen werden, daß die Schleimhaut des Nierenhohlraumsystems äußerst empfindlich für intrapelvine Drucksteigerungen ist. BORGARD konnte bei allen Fällen seines Krankengutes, bei denen die Diagnose "essentielle Hämaturie" lautete, als derartige Stauungs- bzw. Rißblutungen klären. Diese Blutungen können schmerzlos sein, wie die Kontrastmitteleinbrüche bei retrograder Pyelographie und bei der Ureterenkompression zeigen. Die wichtigste praktische Bedeutung kommt den flüchtigen Harnstauungen für die aufsteigenden Harninfektionen zu. Wie bereits oben angeführt, besteht heute kein Zweifel mehr darüber, daß Steinbildungen und Harninfektionen nur durch diese Ursachen zustandekommen. Auch der Stauungsschmerz gehört zu den Stauungskomplikationen. Die Beschwerden können sich stufenlos vom einfachen Druckgefühl bis zur vollen Nieren-Harnleiterkolik äußern. BORGARD weist darauf hin, daß nur 20 - 30 % aller echten Koliken durch einen Harnstein bedingt, fast alle übrigen aber spastischer Natur, d.h. Stauungskoliken sind.

3. 3. Medikamentöse Einflüsse.

Die glatte Muskulatur des Nierenhohlraumsystems unterliegt dem sympathischen und parasympathischen Nervensystem. Es gibt eine ungeheure Zahl von Medikamenten die das vegetative Nervensystem beeinflussen. Da diese Medikamente aber nicht auf alle Organe in gleicher Weise

wirken, kommen für das Nierenhohlraumssystem nur eine begrenzte Anzahl zur Anwendung. Selbst bei diesen wenigen Präparaten wird die gewünschte Wirkung durch Nebenwirkungen an anderen Organen vermindert. Hier sollen nur kurz einige Medikamente erwähnt werden: Hypophysin, ein gutes Mittel zur Erzielung von Steinabgängen, enthält 2 Hauptfraktionen, das uteruswirksame Orasthin und das Tonephin, dessen Oxytocin den Tonus der glatten Muskulatur erhöht und die Ureterperistaltik fördert und dessen Vasopressin blutdrucksteigernd und diuresehemmend wirkt. MAINTZ und WULLENWEBER konnten mit ihm irreguläre und frequente Ureterperistaltik wieder regulär und normalfrequent machen. Tonephin, auch Vasopressin oder Adiuretin genannt, wird aus dem Hypophysin isoliert. Es ist ein Oktapeptid. Bei synthetischen Vasopressinanaloga ließ sich die antidiuretische und muskelstimulierende Wirkung noch weiter dissoziieren als es bei natürlichem Tonephin der Fall ist. PASCHKIS und CANIGIANI erzielten bei leichter Hydronephrose durch Injektion von Tonephin eine Kontraktion von Nierenbecken und Ureter, so daß sie nur noch fadendünn erschienen.

Adrenalin hat eine geringe erschlaffende Wirkung auf die Darmmuskulatur und den Pylorussphinkter und desgleichen eine geringe kontrahierende Wirkung auf die Sphinkteren von Kardia, Darm und Blase. SCHWARZ glaubt eine erregende Wirkung auf den Ureter feststellen zu können.

Corpus-luteum-Hormon, es soll nach DEUTICKE während der Schwangerschaft dilatierend auf den Ureter wirken. Morphin besitzt neben seinen zentralen auch periphere Wirkungen, die vor allem in einer Tonussteigerung der glatten Muskulatur bestehen. Von dieser Tonussteigerung werden vor allem die Sphinktermuskeln betroffen, so z.B. in der Harnblase. PFLAUMER sah beim Morphin eine Verringerung der Harnströme.

3. 4. Nervöse Einflüsse.

Hierunter fallen an und für sich alle Einflüsse auf die Harnwegedynamik, soweit sie nicht von außen kommen, denn sowohl entzündliche, wie mechanische als auch medikamentöse Einwirkungen beeinflussen letzten Endes auf nervösem Wege die Motorik des Nierenhohlraumsystems als auch des Harnleiters. Es sollen im folgenden deshalb nur direkte Einwirkungen auf das nervöse System der oberen Harnwege behandelt werden. HARRIS führte die renale Sympathektomie (Entnervung des Nierenstiels) bei einseitiger Nierenstenose aus, bei der jegliche organische Ursache fehlte und wobei es zu einer costovertebralen Drucksensibilität kam. Wichtig für den Erfolg der Operation war das prompte Ansprechen der Hydronephrose auf Eserin. Blieb diese Reaktion aus, hatte die Sympathektomie keine Wirkung. DEUTICKE konnte feststellen, daß bei Splanchnikusanästhesie nach NEUWIRTH die reflektorische Harnsperrung aufgehoben wird. BRANDESKY fand bei paravertebraler Anästhesie, daß der Sympathikus tonisierend, der Parasympathikus peristaltikfördernd auf die Nieren- und Harnleiterfunktion wirkt. SACK sah bei einem Tumor im oberen Brustmark einen verlangsamten Ablauf der peristaltischen Ureterwelle und Hypotonie des Ureters. RIETHMÜLLER beobachtete völlige Bewegungslosigkeit bei einem Tumor in Höhe von D V - VIII. Bei Tabes findet sich gleichfalls Hypotonie und Hypoperistaltik des Harnleiters. Eine Enervierung der Niere solle keine Peristaltikstörungen mit sich bringen. BAUER wendet sie bei geringen Graden der Hydronephrose zur Schmerzabseitung an, wobei er die Ursachen der Schmerzen in Spasmen der Ringmuskeln von Nierenkelchen und -becken sieht. Auch FREUDE beschreibt eine Weitstellung des Nierenbeckens nach Splanchnikusblockade. Gegensätzliche Befunde fanden bei der Splanchnikusdurchschneidung PROTOPOPOW, der danach ein Aufhören

und STERN, der eine Beschleunigung der Harnleiterkontraktionen nach Durchtrennung beobachtet hatte. Auch die Erkrankung des Diuresezentrams am Boden des 3. Ventrikels wirkt sich störend auf die Dynamik von Nierenbecken und Harnleiter aus.

III. METHODIK

1. Arbeitsgang

Zur Auswertung gelangten die i.v. Pyelogramme von 35 Pat. beiderlei Geschlechts. Das Alter lag zwischen 9 und 69 Jahren. Die Aufnahmen wurden sowohl an Nierengesunden als auch Nierenkranken gewonnen. Die Röntgenkinematographischen Untersuchungen wurden jeweils nach einer intravenösen Urographie oder nach einer Nierenangiographie vorgenommen. Die Patienten lagen hierbei grundsätzlich auf dem Rücken. Untersuchungen im Stehen wurden unterlassen, da es technische Schwierigkeiten bereitete, aber auch die Auswirkungen auf die Harnwegdynamik hinlänglich bekannt sind (BORGARD; PFEIFER; DÜX u.a.). Zur intravenösen Urographie, nach den Forderungen STIEVE's durchgeführt, wurden 20 ml Urographin 76 % injiziert. Da kein Kombinations- Untersuchungsgerät mit Über- und Untertischröhre, Bildverstärkerröhre und Kinoanlage vorhanden war, mußte der Patient nach der Kompressionsaufnahme etwa 25 Minuten post Injektione^m auf einen Durchleuchtungstisch mit Kinoanlage gebracht werden, worunter die Kontrastmittelkonzentration im Nierenhohlraumssystem sehr litt. Dieser Kontrastmittelverlust gewährte jedoch einen guten Einblick für das Studium von Kontrastmittelverschiebungen im Nierenbecken während der Kontraktion. Bei zu starkem Kontrastverlust wurden allerdings noch 10 ml Urographin im Sinne einer prolongierten Urographie reinjiziert. Die im Anschluß an die Nierenangiographie gemachten Aufnahmen zeigten wegen der nahezu direkten Einspritzung des Kontrastmittels, etwa 30 ml, in die Nierengefäße eine gute Füllung des Nierenhohlraumsystems. Hier betrug die zeitliche Distanz zwischen Injektion und Kinoaufnahme etwa 10 Minuten. Die Dauer der Filmszenen lag zwischen 15 und 45 Sekunden, nur in besonderen Fällen

und dies auch nur bei älteren Personen wurden Aufnahmen bis zu 90 Sekunden Dauer gemacht.

2. Röntgen- und kinematographische Apparatur

Bei der benützten Röntgenapparatur handelte es sich um Routine-Einrichtungen in der Röntgendiagnostik und zwar um die Untersuchungsgeräte Diagnost 70 und Clinograph. Beide Geräte sind mit Röntgenbildverstärker, 3-Kanal-Bildverteiler mit Fernseh- und Kinokamera und der entsprechenden Röntgenröhre ausgestattet. Der Diagnost 70 hat einen 23-cm-Bildverstärker mit Kinepulseinrichtung und der Clinograph einen 17,5 cm-Bildverstärker mit Durchlaufbetrieb. An beiden Geräten wurde eine Arriflex-35 mm-Kamera verwandt.

Für die röntgenkinematographischen Aufnahmen des Nierenhohlraumsystems wurden in den meisten Fällen folgende Betriebsgrößen verwandt:

Diagnost 70:

Röhrenspannung:	100 kV
max. Röhrenstromstärke:	120 mA
Pulsbreite:	5 msec
Bildfrequenz:	18 B/sec
max. Filmdauer:	30 sec

Clinograph:

Röhrenspannung:	zw. 80 u. 90 kV
Röhrenstrom:	5 mA
Bildfrequenz:	21 B/sec
max. Filmdauer:	24 sec

Für die Aufnahmen wurde nur der große Brennfleck 1,2 * 1,2 mm angewandt.

Als Filmmaterial wurde der Negativfilm Gevapan 30 bevorzugt.

3. Röntgenstrahlendosis

Um die Einfalldosis für eine Kinoszene berechnen zu können sind folgende Größen nötig:

1. Objektdurchmesser
2. Röhrenspannung
3. Einfalldosis pro Bild am Bildverstärker-Eingang
4. Bildfrequenz
5. Szenendauer
6. Puls- oder Durchlaufbetrieb

Die Punkte 1., 2., 4., 5. und 6. sind leicht bestimmbar und bedürfen keiner näheren Erläuterung.

Zu Punkt 3.:

Um die aus einer großen Vielzahl von Faktoren sich ergebende Einfalldosis zu ermitteln oder zumindest ihre Größenordnung abzuschätzen gibt es zwei Möglichkeiten, entweder während der Kinaufnahme fortlaufend die Dosis zu messen oder sie aufgrund von Phantommessungen abzuschätzen und aus diesen Messungen Tabellen oder Nomogramme aufzustellen, WIEDENMANN. Aus den speziell für den Diagnost 70 und den Clinograph gewonnenen Tabellen ergibt sich für ein 20 cm dickes Objekt bei 90 kV Röhrenspannung am Bildverstärker von 10 mR.

Die weiteren Aufnahmebedingungen sind:

Bildfrequenz	21 B/sec
Szenendauer	30 sec

Daraus ergibt sich:

$$10 \text{ mR} \cdot 21 \cdot 30 = 6300 \text{ mR} = 6,3 \text{ R bei Pulsbetrieb} \\ 12,6 \text{ R bei Durchlaufbetrieb}$$

Zu dieser für die Filmaufnahme benötigten Einfalldosis kommt noch die Strahlenbelastung für die Durchleuchtung, die im Durchschnitt bei 2 Minuten lag. Die Dosis für die Durchleuchtung betrug 20 mR/sec, d.h. bei 2 Minuten wurde eine Dosis von 2400 mR benötigt.

Zusammengefaßt ergab sich für den Patienten während des ganzen Arbeitsganges durchschnittlich eine Strahlenexposition von ungefähr 15 R.

4. Zeit- und Wegemessung

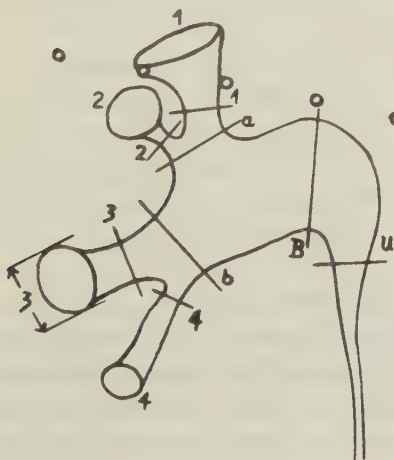
Spezielle an den Kameras angebrachte Bildfrequenzmesser erlauben eine Frequenzkontrolle während des Filmens. Da ihnen eine gewisse Fehlerbreite eingeräumt werden muß, wurde zur genaueren Frequenzkontrolle über eine Einspiegelungsvorrichtung eine Stoppuhr der Tonspur aufbelichtet. Diese Zeitmarkierung ermöglichte eine exakte Bestimmung der benutzten Aufnahme Frequenz. Neben der Zeit muß auch der Weg bestimmt werden, um eine Geschwindigkeitsmessung vornehmen zu können. Hierzu wurde bei allen Aufnahmen auf dem Arbeitstisch unter dem Rücken des Patienten in Höhe des Nierenbeckens ein Plastiklineal mit einer Zentimetermarkierung aus Kupfer gelegt. Aus der bekannten Entfernung von Fokus zu Lineal und Fokus zu Nierenbecken konnte trotz des unterschiedlichen Abstandes des Bildverstärkers bei ungleicher Dicke des Patienten eine exakte Wegemessung vorgenommen werden. Zugleich ermöglichte die Markierung als Fixpunkt genau jede Verschiebung der Niere während der Atmung festzustellen. Diese Methode ist in der analytischen Kinematographie seit einiger Zeit bekannt und wurde von FORTNER für biologische Objekte angewandt. Die Ermittlung exakter Geschwindigkeiten und ihre mathematische Ableitung findet sich z.B. bei MICHAELIS.

5. Apparatur zur Bildauswertung

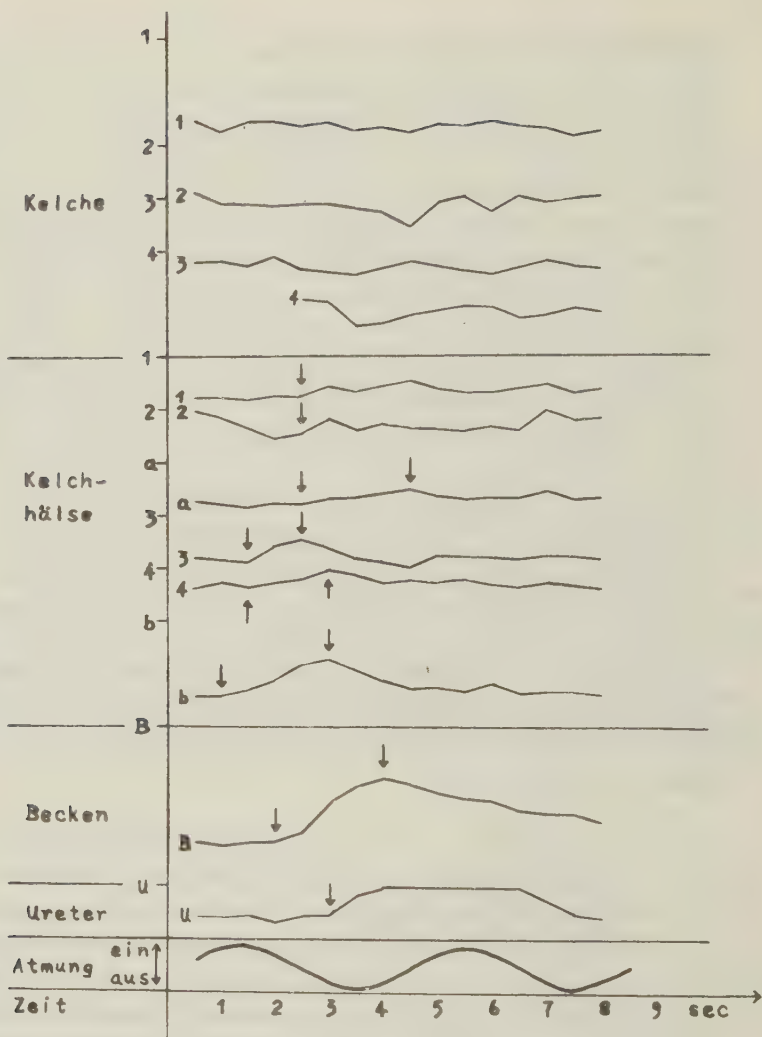
Die belichteten Filme wurden in der Entwicklungsmaschine Combilabor der Firma de Oude Delft unter konstanten Bedingungen entwickelt. Am Steenbeck-Schneidetisch wurden die wichtigsten Filmabschnitte, die Kontraktionen des Nierenbeckens, Pulsationen oder wichtige Kelchbewegungen zeigten, markiert und mit dem Kopiergerät "Miniprint" durch Kontaktkopie 35 zu 35 mm auf den Positiv-Film "Agfa Fine Grain 35 mm" kopiert. Die kopierten Filme wurden auf dem "Arri-Viewer", der neben einer wahlweisen 30- oder 60-fachen Vergrößerung auch eine Einzelbildschaltung und eine stufenlose Bildfrequenz von 0 - 25 B/sec ermöglichte, einer genauen Analyse unterzogen. Um die Funktionsanalyse zu vervollständigen, wurden die wichtigsten Phasen mit einem Leitz-Vergrößerungsapparat um das 10-fache vergrößert und Einzelzeichnungen davon angefertigt.

6. Methodik der Zeichenauswertung

Wegen der sehr oft geringen Bewegungen im Bereich des Nierenhohlraumsystems war es nicht möglich Serienpausen (GROEDEL, STIEVE u.a.) anzufertigen, bei denen mehrere aufeinanderfolgende Skizzen übereinandergezeichnet werden, sodaß ein Bewegungsablauf in einem bestimmten Zeitabschnitt sichtbar wird. Hier wurden Einzelbilder angefertigt und zwar jede $1/2$ Sekunde ein Bild. Teilweise wurden auch alle $1/4$ Sekunde oder alle $1/15$ Sekunde Einzelbilder gezeichnet. Da das menschliche Auge unmöglich sämtliche Bewegungen, die sich zur gleichen Zeit am Ureterabgang, Becken, Kelchstielen und Kelchen abspielen, auf einmal erfassen kann, wurden von den wichtigsten Stellen des Nierenhohlraumsystems die Maße auf ein Diagramm übertragen. Dieses Diagramm ermöglicht einmal die Tonusschwankungen einer besonderen Stelle über einen längeren Zeitraum auf einmal zu überblicken, zum anderenmal den Tonus dieser Stelle mit allen anderen Tonuschwankungen an wichtigen Punkten des Nierenhohlraumsystems, die sich im gleichen Augenblick ereignen, zu vergleichen. An Hand von Abb. 2 und Diagramm I soll dies näher erklärt werden.



Hierzu wurden sämtliche Kelche eines Nierenbeckens durchlaufend nummeriert. Der an den jeweiligen Kelch anschließende Kelchstiel erhielt die gleiche Zahl. Waren auch große Kelche vorhanden, so erhielten deren Kelchstiele die Kennzeichnung mit den Buchstaben a, b, c, usw. Das Becken erhielt B und der Ureterabgang U.



Diagr. I: dazugehörige Zeichnung Abb. II,
 bedeuten Anfang u. Ende der Tonuszunahme,
 Initialkontraktion am Kelchhals b, Tonuszu-
 nahme an den Kelchen und Kelchhälsen wird
 durch Kontrastmittelverschiebungen im Becken
 überlagert.

Gemessen wurde der größte Durchmesser eines Kelches, d.h. im Bereich des HENLE'schen Sphinkters. Ebenso die lichte Weite der Kelchhalse im Bereiche ihrer Ringmuskeln. Auch wurde das Lumen des Beckens an einer besonders charakteristischen Stelle gemessen. Beim Ureterabgang wurden die Maße an dem Punkt genommen, bei dem sich der Beginn der peristaltischen Welle des Ureters nach einer Beckensystole zeigte. Voraussetzung war natürlich, daß alle vorgenommenen Messungen bei jedem Bild an der gleichen Stelle gemacht wurden. Alle gewonnenen Maße wurden auf ein Diagramm übertragen (s. Diagr. I), dessen Abszisse die Zeit und dessen Ordinate entsprechend dem anatomischen Aufbau des Nierenbeckens die Größen der Kelche usw. anzeigt. Die an der Ordinate angeführten Zahlen und Buchstaben geben die Bezugslinien für die im Diagramm mit den gleichen Zeichen versehenen Kurven an. Eine Näherung der Kurve an seine Bezugslinie bedeutet eine Tonuszunahme bzw. Verengerung der lichten Weite der jeweiligen anatomischen Struktur. Eine Entfernung von der Bezugslinie bedeutet umgekehrt eine Erweiterung des Lumens. Die so gewonnenen Kurven in einem Diagramm stellen nun nicht lückenlos den genauen Verlauf der Tonusschwankungen dar, sondern sind lediglich als Verbindungslinien zwischen den alle $1/2$ Sekunden gewonnenen Meßpunkten aufzufassen, deshalb wurden die einzelnen Punkte wie bei einer Fieberkurve durch Geraden verbunden. Dennoch gewähren sie einen guten Überblick über das Ausmaß und die Richtung der Tonusschwankungen. Messungen von zeitlich kürzeren Zwischenräumen zeigten, daß mit dieser Art alle wichtigen Bewegungsvorgänge im Nierenhohlraumssystem erfaßt werden und nur die Maxima und Minima der Tonusschwankungen zwischen den Meßpunkten liegen können, also nicht erfaßt werden. Diese Methode zur Zeichenauswertung ist in Verbindung

mit dem Studium der Bewegungen an einem Projektor, z.B. Ari-Viewer, voll geeignet, jede Phase dieser Bewegungen zu analysieren. Dies muß sogar zur Bedingung gemacht werden, da die am Nierenhohlraum gemachten Messungen nur lineare Werte angeben, das Nierenbecken aber ein Hohlkörper ist und deshalb keine absolut objektive Aussage über Verschiebungen des Kontrastmittels im Hohlraum machen können.

IV. ERGEBNISSE

1. Auslösung einer Nierenbeckenkontraktion

Da die Kontraktionen des Nierenbeckens nicht in zeitlich gleichbleibenden Intervallen erfolgten, war es nicht immer leicht, eine solche Kontraktion im gleichen Augenblick auf eine Kinoszene zu bringen. Bei Nierenbecken, die eine gute Motilität zeigten, konnte 15 Sekunden nach Beendigung der letzten Kontraktion die Kamera in Betrieb genommen werden und war dann sicher, daß innerhalb einer 30 Sekunden dauernden Aufnahmezeit eine solche aufgenommen werden konnte. In anderen Fällen konnte durch tiefes Aus- und Einatmen und plötzlichem Luftanhalten des Patienten eine Nierenbeckenbewegung ausgelöst werden, ebenso nach kräftigem Pressen wie zum Stuhlgang. Bei schwierigeren Fällen drückte der Untersucher mit den Fingern im Bereich der Lendengegend auf die Niere. Dabei fand oft eine spontane Kontraktion des Nierenbeckens statt. Andere zeigten erst eine Reaktion, wenn durch den Druck von außen die Kontrastmittelflüssigkeit aus dem Becken in die Kelche verlagert wurde. Nur bei den hydronephrotisch erweiterten Nierenbecken, einem ampullären Nierenbecken, das einen gefäßarmen destruierenden Prozess in den unteren $\frac{2}{3}$ der Niere ohne eine Mitbeteiligung des Nierenhohlraumsystems zeigte und bei einem Becken mit Ausgußstein konnten während der ganzen Untersuchungszeit keine Nierenbeckenkontraktionen beobachtet werden.

2. Ursprung der Nierenbeckenkontraktion

Von 35 daraufhin untersuchten Nieren nahmen bis auf einen Fall alle Nierenbeckenkontraktionen ihren Verlauf von einem der Kelchhälse, meist von einem großen Kelchhals aus (s. Tab.I). Der Initialkontraktion an den Kelchhälsen gingen in 6 Fällen eine Kelchentleerung in

Stelle der Initialkontr.	Form des Nierenbeckens			vorausgeg. Kelchkontr.
	dendr.	ampullär	Übergang	
normales NHS				
Kelchhals	6	7	4	4
Ureterabgang	1	-	-	-
entz. NHS				
Kelchhals	8	1	8	2
Ureterabgang	-	-	-	-

Tab. I: Stelle der Initialkontraktion in Abhängigkeit von der Form des Nierenbeckens.

das Becken voraus. Die größte Anzahl der Initialkontraktionen ging vom oberen Kelchhals aus und zwar in 17 Fällen. In 12 Fällen vom unteren Kelchhals, nur in 5 Fällen vom mittleren Kelchhals und bei einem Nierenbecken ging sie vom Ureterabgang aus. Als Ureterabgang wird jene Stelle bezeichnet, bei der es als erstes zu einem vollständigen Lumenverschluß zwischen Ureter und Nierenbecken nach einer vorausgegangenen Nierenbeckenkontraktion kommt. Die Verteilung der Initialkontraktionen auf die verschiedenen Kelchhälse und auf den Ureterabgang, unabhängig davon, ob ampullär oder dendritisch geformtes Nierenbecken, zeigen, daß die Nierenbeckenkelchsysteme keinen definitiven Punkt für die Initialkontraktion besitzen. Vielmehr muß angenommen werden, daß ein Nierenbeckenkelchsystem mehrere potentielle Stellen für eine Initialkontraktion besitzt, die vorwiegend in den Kelchhälsen und am Ureterabgang lokalisiert sind. Diese Feststellung wird erhärtet durch die Beobachtung an einem ampullären Nierenbecken, welches zeigt, daß bei zwei aufeinanderfolgenden Kontraktionen der Kontraktionsbeginn am unteren großen Kelchhals liegt und bei einer weiteren Kontraktion des Beckens die Initialkontraktion seinen

Ursprung im oberen großen Kelchhals hat. Eine weitere Bestätigung liefert die Beobachtung an einer anderen Niere, bei der durch Heminephrektomie der obere Pol des Parenchyms und die obere Hälfte des Nierenbeckenkelchsystems entfernt wurde; sie zeigt einen völlig normalen Kontraktionsablauf mit Initialkontraktion im unteren Kelchhals. Eine logische Schlußfolgerung führt dazu, daß bei Vorhandensein von mehreren Stellen für eine Initialkontraktion im Nierenhohlraumssystem es unter besonderen Umständen zu einer gleichzeitigen Initialkontraktion an zwei verschiedenen Stellen kommen kann. Tatsächlich konnte diese Beobachtung an zwei Nieren gemacht werden. Besonders eindrucksvoll läßt sich dies an einem Doppelnierenbecken demonstrieren. Die oben angeführten Beobachtungen werden noch weiter unten an den einzelnen Fällen aufgezeigt. Aber im Normalfall war es doch so, daß bei mehreren Kontraktionen ein und desselben Nierenbeckenkelchsystems die Initialkontraktion immer an der gleichen Stelle lag.

3. Ablauf der Nierenbeckenkontraktion

Von der Stelle der Initialkontraktion, die bei der überwiegenden Mehrzahl der Fälle an den Kelchhälsen lag, verlief eine Kontraktionswelle mit konstanter Geschwindigkeit und kontinuierlichem Verlauf über das ganze Nierenbecken hinweg auf die übrigen Kelchhälse, teilweise auch noch auf die Kelche, und dem Ureterabgang zu. Die Kontraktionswelle fand am Ureterabgang ohne jegliche Verzögerung ihre Fortsetzung in einer peristaltischen Welle des Ureters. Bemerkenswerterweise hatte die peristaltische Welle des Ureters die gleiche Geschwindigkeit wie die im Nierenbecken vorausgegangene Kontraktionswelle. Diese Beobachtung konnte an sämtlichen Untersuchten Objekten gemacht werden. Messungen über den Geschwindigkeitsablauf der Kon-

traktionswelle im Nierenhohlraumssystem zeigten eine durchschnittliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 26,5 mm/sec (s.Tab.II). Dieser Wert entspricht in etwa den Messungen, wie er von mehreren Autoren für eine durchschnittliche Geschwindigkeit der peristaltischen Welle im Ureter angegeben wird, d.h. daß die zur Entleerung des Nierenhohlraumssystems führende Kontraktionswelle mit einer peristaltischen Welle identisch ist.

	Zahl d. Fälle	Arithmet. Mittel	Stand.- abweich.	66% der Werte zw.	Variations- koeff.
Geschw.d. KontrWelle im gesund. NHS	16	26,5 mm/sec	10 mm/sec	16,5-36,5 mm/sec	38 %
entzündl. NHS	15	23,3 mm/sec	5,1 mm/sec	17,2-29,4 mm/sec	26 %

Tab.II: Geschwindigkeit der Kontraktionswelle im Nierenhohlraumssystem.

Besonders deutlich kann die Peristaltik an schmalen dendritisch geformten Becken verfolgt werden, bei denen es durch die Kontraktionswelle zum vollkommenen Lumenabschluß des Beckens kommt und genau jener im Ureter gleicht. Nicht so eindeutig ist sie im großen ampullären Becken zu verfolgen, da es auf Grund des morphologischen Aufbaues des Nierenbeckens nicht zum vollständigen Verschuß des Lumens, sondern nur zu einer Lumenminderung kommt. Weiter konnte in allen Fällen beobachtet werden, daß sich die Kontraktionswelle ausgehend von der Initialkontraktion nicht nur in Richtung auf den Ureter fortbewegte, sondern sich in alle Richtungen kontinuierlich über das ganze Nierenhohlraumssystem ausbreitete. Abbildung 3 zeigt an Hand von schematischen Skizzen die Ausbreitung der Kontraktionswelle im Nierenhohlraumssystem, wenn sie von verschiedenen Punkten ausgeht.

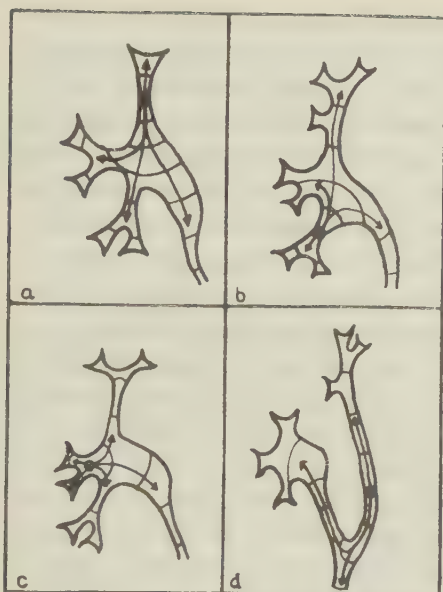


Abb. 3:

Schematische Darstellung der Ausbreitung von Kontraktionswellen im Nierenhohlraumssystem.

Die Pfeile geben die Ausbreitungsrichtung der Kontraktionswellen an, die Kreisbögen deren räumlichen und zeitlichen Ablauf.

a) Initialkontraktion am Kelchstiel der oberen Kelchgruppe;

b) Initialkontraktion am Kelchstiel der unteren Kelchgruppe;

c) Initialkontraktion am

Kelchstiel der mittleren Kelchgruppe;

d) zeigt Verhältnisse beim Doppelnierenbecken.

Die Initialkontraktion konnte nicht als von einem Punkt ausgehend identifiziert werden, sondern äußerte sich immer als eine Lumenverengung an einem Kelchhals oder am Ureterabgang, von der sie sich dann ausdehnte. Begann die Initialkontraktion am oberen Kelchhals (s. Abb. 3 a), so fand man rückläufig eine Verengung des Kelches. War es der dünne Kelchstiel eines dendritisch geformten Nierenbeckens, so fand ein völliger Lumenverschluß des Kelchstieles statt. Die Kontraktionswelle streifte dabei wie bei einer Retroperistaltik den Inhalt aus dem Kelchstiel in die einzelnen Kelche, die dabei stark gefüllt wurden. Die Kontraktionswelle erreichte auch noch die einzelnen Kelche an jenem Kelchstiel, nur war dies nicht mehr sichtbar, da die vorausgegangene starke Füllung der Kelche und der verschlossene Kelchstiel eine Kontraktion verhinderten,

so daß es nur noch zu einer isometrischen Tonussteigerung kam. Daß es zu einer Tonussteigerung in den Kelchen kam, bewiesen Beobachtungen, bei denen auf Grund der Drucksteigerung in den Kelchen für einen ganz kurzen Augenblick Kontrastmittel durch den verschlossenen Kelchstiel in das Becken gepresst wurde. Nicht so deutlich konnte bei kurzen und dicken Kelchhälsen, vor allem bei ampullären Beckentypen, eine peristaltische Kontraktion derselben erkannt werden. Dies hatte seine Ursache darin, daß die Kelchhälse nicht total eingeschnürt wurden und die kurze Wegstrecke zur Kelchbasis von der peristaltischen Kontraktionswelle schnell überwunden wurde und sich der Eindruck einer allseitig gleichzeitigen Tonuszunahme am Kelch ergab, der noch dadurch verstärkt wurde, daß das Kontrastmittel durch den offenen Kelchstiel ins Becken abfließen konnte. Dennoch konnte aber immer beobachtet werden, daß die Tonuszunahme am Kelch um Sekundenbruchteile später als Initialkontraktion stattfand. Gut konnte die Kontraktionswelle an der medialen Wand des Nierenbeckens verfolgt werden, wo sie sich in Richtung Ureter bewegte. Durch die dabei einhergehende Verkleinerung des Beckens wurde das Kontrastmittel in die caudal-liegenden Räume des Nierenhohlraumsystems verlagert. Es kam zu einer starken Anfüllung des mittleren und unteren Kelchsystems und zu einer Dehnung des Ureters. Dieser Vorgang wurde unterbrochen, wenn die Kontraktionswelle nacheinander die Kelchhälse der mittleren und unteren Kelchgruppe erreichte und diese eingeengt wurden. Die Entleerung des Beckens war beendet, wenn die Kontraktionswelle den Ureter erreicht und ein Lumenabschluß am Ureterabgang stattgefunden hatte. Die Entleerung des Ureters erfolgte durch die gleiche Kontraktionswelle, die sich, kontinuierlich vom Becken auf den

Ureter übergend, caudal fortbewegte. Die Erweiterung des Beckens erfolgte ausgehend von derselben Stelle wie die Initialkontraktion nach den gleichen Gesetzen wie die Kontraktion. Eine an einem beliebigen Punkt des Beckens eingesetzte Kontraktion benötigte vom Beginn der Tonuszunahme bis zu ihrem Maximum durchschnittlich 2 Sekunden (s. Tab.III).

normales NHS	Zahl d. Fälle	Arithm. Mittel	Stand.-abweich.	66 % der Werte zw.	Variat.-koeff.
Tonuszunahme	16	2,0sec	0,1	1,9-2,1sec	5 %
Tonusabnahme	16	2,4sec	0,1	2,3-2,5sec	4 %
entzündl. NHS					
Tonuszunahme	15	1,9sec	0,1	1,8-2,0sec	5 %
Tonusabnahme	15	2,4sec	0,2	2,2-2,6sec	8 %

Tab.III: Dauer der Tonuszunahme und -abnahme an einer definierten Stelle des Nierenbeckens.

Die Dauer einer Tonuszunahme war bei wiederholten Kontraktionen für das jeweilige Becken gleich lang. Auf Grund dieser Tatsache war es keine Seltenheit, daß es nach dem Entleerungsvorgang im Becken, also zum Zeitpunkt nach dem Lumenabschluß am Ureterabgang, zu starken Fluktationen im Nierenhohlraumssystem kam. Die Ursachen hierfür waren, daß sich in Abhängigkeit von der Morphologie des Beckens und der Geschwindigkeit der Kontraktionswelle die caudalen Teile des Beckens noch in einer Tonuszunahme befanden, während sich die cranialen Teile bereits wieder dilatierten, dadurch kam es zu einer schnellen Kontrastmittelverlagerung in die oberen Teile des Nierenhohlraumssystems und sogar zu einer Füllung der oberen Kelche. Grundsätzlich die gleichen Verhältnisse und Vorgänge wurden an jenem Nierenhohlraumssystemen wahrgenommen, bei denen die Initialkontraktion von einem Kelchhals der unteren Kelchgruppe

ausging (s. Abb. 3 b). Hier verlief die Kontraktionswelle an Ureterabgang und mittlerer Kelchgruppe vorbei in Richtung craniale Nierenhohlraumanteile. Die Kontraktionswelle fand natürlich auch im Ureter eine Fortsetzung nach caudal. Als Besonderheit konnte hier beobachtet werden, daß es wegen der häufigen Nachbarschaft von unterer Kelchgruppe und Ureterabgang sehr schnell zu einem Lumenverschluß desselben kam und hiermit die Entleerungsphase des Beckens abgeschlossen war. Dies bedeutete, daß nur eine kleine Flüssigkeitsmenge in die Blase abtransportiert wurde. Eine gute Entleerung zeigten jene Nierenhohlraumssysteme, bei denen die Initialkontraktion an einem Kelchhals der mittleren Kelchgruppe lag (s. Abb. 3 c). Hier wurden die restlichen nahe gelegenen Kelchhälse sehr schnell von der Tonussteigerung erfaßt, so daß das Kontrastmittel nur noch in den Ureter entweichen konnte und deshalb eine große Menge entleert wurde. Eine geringe Entleerung während einer Beckenkontraktion zeigte jenes Nierenbeckenkelchsystem, bei dem die Initialkontraktion am Ureterabgang war. Hier gelangte nur jene Harnmenge in die Blase, die sich bereits vor Beginn der Kontraktion im dilatierten Ureter befand und das obwohl sich das ganze Beckenkelchsystem kontrahierte. Die Erklärung für diese Erscheinung war wie in allen anderen Fällen darin zu suchen, daß sich die Kontraktionswelle ausgehend vom Ort der Initialkontraktion gleichmäßig in alle Richtungen des Nierenhohlraumsystems ausbreitete. Eine geradezu extreme Bestätigung dieser Beobachtungen lieferten Doppelnierenbecken mit Doppelureter (s. Abb. 3 d). Entsprang an einem Kelchhals des oberen Beckens die Kontraktionswelle, so wurde rückläufig die ganze Kelchgruppe von der peristaltischen Tonussteigerung erfaßt, in die andere Richtung verlief sie den Ureter caudal bis zu dessen Mündung mit dem Ureter des unteren Beckens.

An dieser Vereinigungsstelle der beiden Ureteren in einen gemeinsamen wurde die peristaltische Welle zweigeteilt und zwar verlief eine Welle dem gemeinsamen Ureter caudalwärts und die andere wie bei einer Retroperistaltik mit gleicher Geschwindigkeit cranialwärts den zweiten Ureter hinauf und füllte das anschliessende Becken mit Kontrastmittel auf, wegen der starken Füllung kam es durch die sofort folgende Beckenkontraktion zu einer Entleerung in den Ureter nach caudal. Am ersten Ureter gab es keine Retroperistaltik. An einem anderen Nierenhohlraumssystem mit Doppelbecken und -ureter konnte neben den oben beschriebenen Vorgängen noch eine andere Beobachtung gemacht werden. Erst war eine Initialkontraktion an einem Kelchhals des unteren Beckens festzustellen, kurze Zeit später wurde auch eine Kontraktionswelle im oberen Becken ausgelöst. In beiden Ureteren bewegten sich die Kontraktionswellen caudal und verschmolzen im gemeinsamen Ureter. In keinem der Ureteren kam es zu einer Retroperistaltik. Der peristaltische Ablauf der Entleerungsphase im Nierenbecken, bei dem das Maximum des Muskeltonus nicht jede Stelle des Beckens gleichzeitig erfaßt, bringt es mit sich, daß das Becken während dieser Zeit verschiedenen Verformungen unterworfen wird. Bei kleinen dendritischen Becken wird die Harnspindel, wie sie normalerweise nur im Ureter sichtbar wird, bereits während der Tonuszunahme im Becken gebildet, gerade so, als ob das Becken eine Verlängerung des Ureters darstelle, es kommt dabei zu einer vollständigen Entleerung des Beckens. Größere Nierenbecken, vorallem wenn der Ureterabgang weit von der Stelle der Initialkontraktion entfernt war, zeigte eine Vergrößerung nach dem Ureter hin, wenn die der Initialkontraktion proximalen Teile durch ihre Tonuszunahme das Kontrastmittel caudal verdrängten und der

obere Ureteranteil gedehnt wurde. Das Becken schien nach unten zu wandern. Hatte nun die Kontraktion die distalen Beckenanteile erfaßt und die proximalen Anteile dilatierten bereits, wurde durch die noch ständige Tonuszunahme am ureternahen Teil das Becken verkürzt. Es schien in das Becken hineingezogen zu werden (s. Abb. 4).

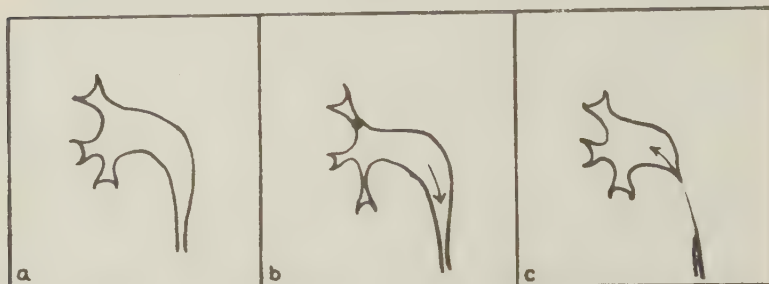


Abb. 4: Nierenbecken (schemat.); a) in Ruhestellung, b) zu Beginn der Kontraktion, c) gegen Ende der Kontraktion, (•) = Ort der Initialkontraktion, † = scheinbare Wanderung des distalen Beckenanteils.

Lag der Ureterabgang nahe dem Ort der Initialkontraktion, so kam es bald zu einer Kontraktion der ureternahen Beckenanteile und das Becken schien gleich zu Beginn der Kontraktion in den Nierenhilus gezogen zu werden (s. Abb. 5). Gegen Ende der Kontraktion kehrte es in die Ausgangslage zurück. Diese beobachteten Verformungen des Beckens sind nun bei jedem Nierenbeckenkelchsystem anders geartet, da diese abhängig sind von dem Ort der Initialkontraktion, der Form des Nierenbeckens und dem Grundtonus der Nierenbeckenmuskulatur. Weiterhin durfte die Kontraktion nicht zur vollständigen Entleerung des Beckens führen.

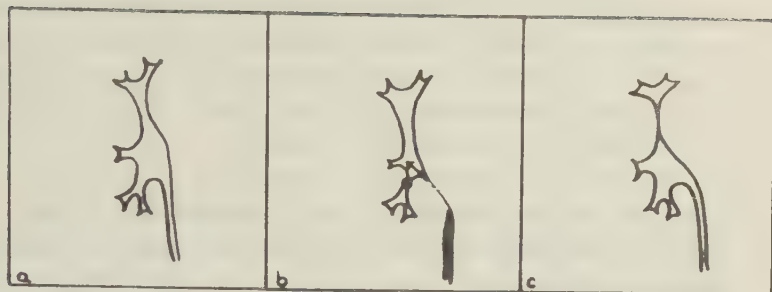


Abb. 5:

Nierenbecken (schematisch); a) in Ruhestellung, b) zu Beginn der Kontraktion, c) gegen Ende der Kontraktion, (•) = Ort der Initialkontraktion, ↑ = scheinbare Wanderung des distalen Beckenanteils.

4. Bewegungen der Nierenkelche und -kelchhalse.

4. 1. Während der Kontraktions- und Dilatationsphase des Nierenhohlraumsystems.

Wie aus den oben angeführten Beobachtungen ersichtlich wurde, sind die Bewegungen der Kelche und Kelchhalse während einer Kontraktionsphase und der anschließenden Entspannungsphase ganz diesen Vorgängen untergeordnet. Auch ihre Entleerung oder Füllung geschieht während dieser Zeit durch eine peristaltische Kontraktionswelle. Gründe für die nicht immer einfache Erkennbarkeit einer Peristaltik wurden ebenfalls oben angeführt. Die zeitlich oft sehr differierenden Bewegungen der einzelnen Kelche und Kelchhalse finden ihre Begründung in dem anatomischen Aufbau des Nierenhohlraumsystems, dem Ort der Initialkontraktion und vor allem in der peristaltischen Kontraktionsweise. Diese Bewegungen werden aber noch überlagert durch Fluktuationen, die während der Kontraktions- und Dilatationsdauer des Nierenhohlraumsystems auftreten und Kelchhalse und

Kelche trotz einer Tonuszunahme passiv dilatieren oder dort zumindest eine isometrische Tonuszunahme bewirken können. Aus diesen Faktoren ergibt sich eine sehr große Variationsbreite, über deren Funktionszustände, die aber immer einer Gesamtfunktion untergeordnet und gegenseitig in Beziehung gesetzt werden können.

4. 2. Während der Ruhephase des Nierenhohlraumsystems. Dies ist der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nierenbeckenkontraktionen und auch jener Zeitraum, bei dem es zur Sekretion des Harns aus den Nierenpapillen in die Kelche kommt. Auf Grund welcher Kräfte der Harn aus den Sammelröhren in das Nierenhohlraumsystem gelangt, konnte aus den vorliegenden Filmaufnahmen nicht erkannt werden. Im allgemeinen kann man die Bewegungen der Kelche und ihrer Hälse in zwei Bewegungsarten unterteilen. Die erste Bewegungsart führt zu einem sichtbaren Transport des Kontrastmittels aus den einzelnen Kelchen in das Becken. Sie erfolgt in Form einer peristaltischen Kontraktion und läßt eine Zusammenarbeit von Kelchen und Kelchhälsen erkennen. Die zweite Bewegungsart äußert sich nur in einer Tonuszu- oder -abnahme der Kelchschale und dem Kelchstiel. Dabei ist kein funktioneller Zusammenhang zu erkennen. Tonus-maxima an der Kelchbasis lagen durchschnittlich 0,8 - 1,2 sec auseinander, dabei konnte der Durchmesser um einige Millimeter abnehmen. Meist folgten drei oder vier solche Tonuswellen aufeinander und verebbten dann in einer mehrere Sekunden dauernden Ruhepause, bei der der Grundtonus ganz leicht zu- oder abnehmen konnte. Die gleichen Erscheinungen zeigte der dazu gehörige Kelchhals, dessen Tonusschwankungen ungefähr den gleichen zeitlichen Ablauf zeigten, jedoch nicht in Verbindung mit der Kelchbasis gebracht werden konnten, sie konnten sogar in dessen Ruhephase fallen und auch umgekehrt. Hie und da zeigte sich nur

eine einzige Tonussteigerung und dann eine Sekunden dauernde Pause. Kelchschale und dazugehöriger Kelchhals können bei dieser Bewegungsart völlig autonom sein. Eine Tonuszunahme in der Kelchschale konnte plötzlich zu einem Flüssigkeitstransport führen, also in die erste Bewegungsart überleiten. Hierbei war ein funktionelles Zusammenwirken zwischen Kelchschale und Kelchhals erkennbar. Dem Tonusanstieg im Kelche folgte $1/10 - 2/10$ Sekunden später die Tonuszunahme im Kelchhals. Beim Nachlassen des Tonus kam es meist wieder zum Kontrastmitteleinfluß in die Kelchschale aus der tiefer liegenden Region. Mehrere Variationen waren bei dieser Transportbewegung an dendritisch geformten Nierenbeckenkelchsystemen wegen ihres verzweigten Aufbaues erkennbar. Auch hier zeigte sich, daß die Transportvorgänge von kleinen Kelchen eines Kelchsystems untereinander autonom sind. Hierbei konnte es vorkommen, daß ein kleiner Kelch seinen Inhalt über den großen Kelch in einen benachbarten sich gerade dilatierenden kleinen Kelch abgab. Nun kontrahierte sich dieser seinerseits und gab seinen Inhalt über den gleichen Weg dem ersteren zurück. Dieser Vorgang wiederholte sich zweimal. Auch die großen Kelche zeigten gegenüber ihren aufsitzenden kleinen Kelchen eine Unabhängigkeit. Hier konnte die peristaltische Entleerung in das Becken einer vorausgehenden Entleerung eines kleinen Kelches folgen, aber andererseits auch in völlig selbständiger Form erfolgen. Eben solche Unabhängigkeit zeigten die einzelnen Kelchsysteme des Nierenbeckens untereinander. Es konnte tatsächlich beobachtet werden, daß die Entleerung eines kleinen Kelches die Entleerung eines großen Kelches bewirkte und dieser seinerseits die auslösende Ursache für eine Beckenkontraktion ergab. Alle diese Bewegungsvorgänge in den Untereinheiten

des Nierenhohlraumsystems konnten durch die Peristaltik des Nierenbeckens jäh überlagert werden und aus den kurz zuvor autonomen Teilen eine funktionelle Einheit herstellen.

5. Pathologische Störungen der Nierenbeckenentleerung

Wie aus den Tabellen I, II, III erkennbar ist, sind primär keine wesentlichen Unterschiede in gesunden und entzündlich erkrankten Nierenhohlraumsystemen am Ursprung der Initialkontraktion, dem Ablauf der peristaltischen Kontraktionswelle und der Dauer der Tonuszu- und -abnahme während der Entleerungsphase zu erkennen. Von den hier zur Untersuchung gelangten 24 entzündlich erkrankten Nierenhohlraumsystemen zeigten bis auf wenige Ausnahmen alle eine dem gesunden Nierenbecken völlig gleichende Entleerung. Auch die Kelche und Kelchhalse wiesen trotz oft starker Deformationen eine normale Transporttätigkeit auf. Zu den Ausnahmen zählten Hydronephrosen, ein Nierenbecken mit Ausgußstein und eine pyelonephritische Schrumpfniere.

Hydronephrosen:

Hydronephrotisch erweiterte Nierenhohlraumsysteme, gleichgültig welcher Genese, ließen alle die gleichen charakteristischen Merkmale erkennen. Keines zeigte über den ganzen Untersuchungszeitraum eine der sonst üblichen Entleerungen mit einer starken Verkleinerung des Beckens. Obwohl an Hand der Pyelogramme eine Atonie diagnostiziert wurde und die Durchleuchtung ebenfalls ein bewegungsloses Nierenhohlraumsystem vorgab, konnte mit Hilfe der Einzelbildauswertung eine starke Bewegungstätigkeit nachgewiesen werden. Diese bestand nun nicht in einem geordneten Bewegungsablauf, sondern in völlig regellosen Tonusschwankungen in dem stark erweiterten Nierenhohlraumsystem. Zeitweise konnte ein Kelch in seinem gesamten Volumen zu- oder abnehmen. Hier und da

war nur eine kleine Einschnürung an irgendeiner Stelle des Kelches aber auch des Beckens festzustellen. Ein systematischer Bewegungsvorgang fand jedoch nicht statt, sondern mehr oder weniger starke Formveränderungen. Diese Beobachtungen lassen deshalb erkennen, daß man bei Hydronephrosen nicht von einer Atonie des Nierenhohlraum-system sprechen kann.

Ausgußstein des Nierenbeckens:

Diese Niere zeigte noch zusätzlich eine hydronephrotische Auftreibung des gesamten Beckenkelchsystems, obwohl röntgenologisch keine Stauungsursache nachweisbar war. Überraschenderweise waren die gleichen Symptome wie bei den oben angeführten Hydronephrosen zu beobachten. Trotz des ausgedehnten Ausgußsteines waren überall die gleichen Formveränderungen festzustellen, nur keine regelrechte Entleerung. Eine 6 Stunden p.I. gemachte Aufnahme ließ eine vollständige Entleerung erkennen.

Pyelonephritische Schrumpfniere!

Diese wies starke Verplumpungen und keulenartige Deformationen des Kelchsystems und eine Engstellung der Kelchhalse auf. Während der Aufnahmezeit fanden nur der oberste und unterste Kelch kurze Zeit Anschluß an das Nierenbecken und dies auch nur unter dem Einfluß der Atmung, wobei die im Becken sich befindliche Kontrastmittelspindel beim Einatmen zusammengepresst und abgerundet wurde und beim Ausatmen sich ausdehnte. Eine aktive Entleerung in den Ureter wurde nicht festgestellt. Die Kelche zeigten Tonusschwankungen wie bei den hydronephrotischen Nierenbecken, jedoch keine Einschnürungen. Eine 24 Stunden später angefertigte Stehaufnahme zeigte noch Kontrastmittel im Nierenbeckenkelchsystem ohne jegliche Anzeichen einer Aufstauung. Diese Tatsache und der große Einfluß der Atmung auf die Kontrastmittelschiebungen im Becken beweisen eine massive Motilitätsstörung, die auf einer starken entzündlichen Schädigung der Schleimhaut und der darunterliegenden Muskelschichten beruht.

Von 3 weiteren erkrankten Nieren waren röntgenologisch Veränderungen nur im Parenchym nachzuweisen. 2 davon wiesen eine vollständig normale Entleerung ihres Beckens auf. Die dritte Niere zeigte in der selektiven Arteriographie einen gefäßarmen destruierenden Prozess in den unteren zwei Dritteln des Parenchyms. Obwohl die Schleimhaut des Nierenbeckens nicht befallen war, fand keine Entleerung im üblichen Sinne statt. Die Tätigkeit der Kelche und ihrer Kelchhalse entsprach jener beim gesunden Nierenbecken während der Ruhephase, jedoch ohne Entleerungsbewegungen. Das Becken selbst zeigte nur über Sekunden dauernde langsame Tonuszu- oder -abnahmen, wobei es durch den offenen Ureterabgang zu einem leichten Abfluß des Kontrastmittels kam. Dies bedeutet, daß die unter der Schleimhaut liegenden glatten Muskelschichten durch den destruierenden Prozess zu diesem Zeitpunkt noch nicht befallen waren, wohl aber bereits eine Störung der nervösen Versorgung der Muskulatur eingetreten sein muß. An 3 Nephroptosen konnten bei den im Liegen untersuchten keine Störungen im Ablauf der Beckenkontraktionen festgestellt werden.

6. Mitgeteilte Bewegungen

Bis auf eine pyelonephritische Schrumpfniere konnte an keinem Nierenbecken eine direkte Einwirkung der Atmung auf das Nierenhohlraumssystem beobachtet werden. Messungen zeigten, daß es keine synchrone Volumenveränderungen an den Kelchen und den Nierenbecken mit dem Ein- und Ausatmen gibt.

Häufig konnten jedoch Pulsationen von Gefäßen am Nierenhohlraumssystem beobachtet werden. Pulsationen waren größtenteils am Ureterabgang und am medialen Wandabschnitt des Beckens zu sehen, jedoch auch an den Kelchhälsen und den Kelchschalen. Daß diese Pulsationen einen Einfluß auf den Ablauf der Beckenkontraktionen oder gar reflektorisch zu Spasmen führten, konnte nicht bemerkt werden.

V. DISKUSSION

In Übereinstimmung mit LAUBER und SCHERER, CATEL und GARSCHÉ, SIELAFF sowie DÜX, THURN und KISSELER ergeben die eigenen kinematographischen Befunde, daß es sich beim Entleerungsvorgang des Nierenbecken-, Kelch- und Harnleitersystems um eine aktive caudal gerichtete Kraft handelt. Caudal gerichtet deswegen, weil als einzig anatomisch vorgebildeter Weg für ein Entweichen der Flüssigkeit nur der Ureter in Frage kommt. Weiter bestätigen die gemachten Beobachtungen, daß es sich in Übereinstimmung mit ISRAEL, HAEBLER, SCHMIDT, FUCHS, MAINTZ und WÜLLENWEBER, sowie den Japanern MITSUIA, KILU u.a. entgegen der Ansicht von LAUBER und SCHERER, CATEL und GARSCHÉ und DÜX und Mitarb., bei der Entleerung um eine peristaltische Kontraktionswelle handelt. Eine besondere Bedeutung kommt hierbei der Initialkontraktion zu, jener Stelle, an der zum erstenmal bei einer Peristaltik eine Kontraktion festzustellen ist. Die große Differenz der eigenen Ergebnisse, nach denen bei 97 % der Fälle die Initialkontraktionen an den Kelchhälsen zu beobachten waren, gegenüber den Ergebnissen von CAMPBELL und SCHMIDT, POLLACK und OSWALD, wo diese größtenteils am Ureterabgang lagen, mag darin begründet sein, daß es einmal an der Auswahl der Fälle lag und zum anderen Mal an der Methode. Letztgenannte Autoren verwandten zu einem großen Teil für ihre Untersuchungen die retrograde Füllung, wobei es zu einer starken Reizung gerade am Ureterabgang gekommen sein mag. Aber auch diese Feststellungen bedeuten eine Bestätigung der eigenen Beobachtungen, daß ein Nierenhohlraumssystem mehrere potentielle Stellen für eine Initialkontraktion besitzt, die vor allem an den Kelchhälsen und am Ureterabgang liegen, jedoch auch an deren Stellen sein mögen, wie BECKER und POLLACK beobachten konnten. Es kann nun jene Stelle als erste in Aktion treten, an der der größte Reiz durch den Füllungsdruck oder auch exogen,

z.B. durch den Katheder, gesetzt wird. Unter physiologischen Verhältnissen wird jedoch die Initialkontraktion bzw. der Schrittmacher überwiegend an den Kelchhälsen sein. Als physiologischer Reiz für die Auslösung einer Kontraktionswelle kommt nach den eigenen Beobachtungen in erster Linie die Entleerung eines Kelches in Betracht; gleiche Beobachtungen machte auch MITSUYA. Dies wurde besonders deutlich an Nierenbecken, bei denen die Kelche bereits entleert und deshalb nicht mehr abzugrenzen waren. Wurde ein solches Becken von außen mit der Hand so komprimiert, daß die im Becken gebliebene Flüssigkeit in die Kelche gepresst wurde, und wurde die Hand wieder losgelassen, so entleerten sich die Kelche spontan und eine zusätzliche Kontraktion des gesamten Nierenhohlraumsystems folgte in den meisten Fällen. Eine typische Abhängigkeit des Ursprungs der Kontraktion von der Form des Nierenbeckens, wie sie BECKER und POLLACK bei dendritischer Form am oberen lateralen und bei ampullärer am unteren medialen Rand des Nierenbeckenkelchsystems machten, konnten nicht festgestellt werden. Über die eigenen Beobachtungen, wonach die Initialkontraktionen an ein- und demselben Nierenhohlraumssystem an verschiedenen Stellen liegen oder sogar nahe zu gleicher Zeit an zwei verschiedenen Stellen zu entspringen vermögen, konnte in der mir bekannten Literatur nichts ähnliches nachgelesen werden. Wichtig für den Ablauf der Peristaltik ist ebenfalls die Beobachtung, daß sich die Kontraktionswelle ausgehend von der Stelle der Initialkontraktion in alle Richtungen gleichmäßig und gleich schnell ausbreitet. Diese Beobachtung im Verein mit dem bekannten Ort der Initialkontraktion, der bekannten Form des Nierenbeckenkelchsystems und seinem Grundtonus machen das Vorhandensein von speziellen Ringmuskeln, wie sie bisher immer angenommen wurden, für eine sinnvolle und wirkungsvolle Entleerung überflüssig und zusätzlich

finden viele bisher als nicht in Einklang mit der Entleerung des Beckens zu bringende Kelchaktionen ihre Erklärung. Die Kenntnis dieser vier Bedingungen setzt den Betrachter in die Lage, den Ablauf einer normalen Beckenentleerung mit all seinen Nebenerscheinungen an den Kelchsystemen im vorhinein zu berechnen. Hiermit entfällt es nur zu konstatieren, z.B. daß während der Kontraktionsphase des Beckens das obere Kelchsystem weitgestellt und das untere enggestellt ist, wie es von vielen Autoren gemacht wird und auf Grund der vielen Einzelbeobachtungen ein oft völlig verwirrendes Bild über den Entleerungsmechanismus entsteht, sondern diese vielen Formvarianten der Nierenhohlraumssysteme und ihre verschiedenen Lokalisationen eines Schrittmachers bedingen dieses reiche Bild der Aktionszustände. Dennoch ist immer eine Rekonstruktion auf deren auslösende Ursache hin möglich. Gerade diese mißverstandenen Einzelbeobachtungen führten zu Konstruktionen von Ringmuskeln an den Kelchen, Kelchhälsen und am Ureterabgang um sich eine geregelte Entleerung des Beckens vorstellen zu können, obwohl SCHNEIDER und STEIGLEDER eindeutig mikroskopisch nachwiesen, daß das anatomische Substrat für richtige Ringmuskeln fehlt und nur die Verlaufsrichtung der Muskelfasern zu einer solchen Wirkung führen könne. Hier wurde versucht aus einem vorübergehenden Funktionszustand einen Dauerzustand zu interpretieren. Dieser vorübergehende Funktionszustand kommt aber nur eindeutig zustande, wenn der Ablauf der Entleerung in Form der Peristaltik geschieht und diese war an sämtlichen Nierenbeckenkelchsystemen zu erkennen, sehr gut sogar an dendritisch geformten. Die ringmuskelartige Wirkung tritt deshalb auch nur an den Stellen mit geringerer Weite auf und an besonders langen Kelchhälsen war sogar eine Wanderung dieser Einschnürung entlang denselben entsprechend der peristaltischen Welle zu beobachten, d.h. diese Wirkung war nicht immer an der gleichen

Stelle anzutreffen. Wie wäre denn eine regelrechte Funktion von Ringmuskeln an ampullär geformten Nierenbecken zu erklären, bei denen die Kelchhalse oft so weit sind, daß es dort niemals zu einer vollständigen Segmentierung kommt! Vergleicht man die entwicklungsgeschichtliche Entstehung der oberen Harnwege, die eine vollkommene Einheit darstellen, mit seiner Funktion, so stellt sich die Frage, weshalb sich die Natur am Ureter einer Peristaltik bedient, während die Entleerung am Nierenbeckenkelchsystem nur durch eine konzentrische Tonuszunahme ablaufen soll, wo doch sonst an allen Hohlorganen mit glatter Muskulatur die peristaltische Transportform angewandt wird. Aber wie die oben angeführten Ergebnisse zeigen, stellt auch die Transportform in den oberen Harnwegen eine Einheit dar, denn die peristaltische Kontraktionswelle setzt sich vom Becken kontinuierlich und mit konstanter Geschwindigkeit auf den Ureter fort. Diese funktionelle Einheit läßt sich sogar am Doppelnierenbecken und -ureter eindeutig nachweisen, wie der Ablauf der Peristaltik an dieser Form des Nierenhohlraumsystems zeigt. Daß es hierbei in einem Ureter immer zu einer Retroperistaltik kommt, beweist die Beobachtung von der kontinuierlichen Ausbreitung der Kontraktionswelle über die ganzen oberen Harnwege. Dieselben Erscheinungen konnte CAMPBELL schon früher an einer wesentlich größeren Zahl von geteilten Nierenbecken und Ureteren nachweisen. Nur findet er hierfür keine Erklärung, deshalb bezeichnet er sie als "besondere Erscheinungen" und den Ablauf der Peristaltik in den beiden Ureteren als asynchron. An Hand der Beobachtungen CAMPBELL's kann nachträglich noch gesagt werden, daß es auch bei getrennten Mündungen der beiden Ureteren in die Harnblase solange zu einer Retroperistaltik in einem der beiden Ureteren kommt, solange deren Muskelfasern an der Mündungsstelle nicht durch die sog. WALDEYER'sche Ureterscheide getrennt sind. Erst

deren totale Trennung gibt den beiden Teilen auch eine funktionelle Selbständigkeit. Obwohl die gesamten Teile des oberen Harnwegesystems während der Entleerungsphase des Nierenbeckens zu einer funktionellen Einheit verschmelzen, zerfallen sie in dessen Ruhephase zu kleinen autonomen Einheiten. Es erweist sich, daß Ureter, Becken, Kelchhalse und Kelchschalen unter einem eigenen Grundtonus stehen und dieser sich in allen genannten Teilen unabhängig voneinander ändern kann. Weiter können sich die Kelche in das Becken und der Ureter in die Blase ohne jegliche Mitbeteiligung des Nierenbeckens durch eine Peristaltik entleeren. Über die Bewegungen des Ureters konnten hier keine Ergebnisse gebracht werden, da nur Untersuchungen am Nierenhohlraumssystem angestellt wurden, deshalb wird an dieser Stelle auf die Arbeiten von SCHMIDT, POLLACK und OSWALD und von CAMPBELL verwiesen. Entgegen der Ansicht von DÜX, THURN und KISSELER u.a. wird hier die Ansicht vertreten, daß es sich bei der Entleerung der Kelche in das Becken um eine Peristaltik handelt. Die Erkenntnis wurde durch eingehendes Studium der Filmszenen, durch Auswertung von Einzelbildern und Diagrammen (s. Methodik) gewonnen. Ansonsten kann diesen Autoren darin beigelegt werden, daß Calices minores und Calices maiores untereinander selbständige Bewegungen ausführen können. Ob die noch zusätzlich zu diesen Entleerungsbewegungen der Kelche beobachteten Tonuschwankungen an den Kelchschalen eine Bestätigung der "Melktheorie" nach WESTENHÖFER und HAEBLER bedeuten, kann allein auf Grund von Röntgenbildern nicht behauptet werden.

Zu einer Störung der Motilität des Nierenhohlraumssystems wird es erst dann kommen, wenn eine Schädigung in der Muskulatur oder in deren nervalen Versorgung eingetreten ist, ausgenommen sind die mechanischen Einflüsse. Entzündungen der Schleimhaut führen wohl zu den bekannten

Erscheinungen einer Änderung des Grundtonus vor allem an den Kelchen und Kelchhälsen und zu einer Einflußnahme auf die Schrittmachertätigkeit, aber zu keiner wesentlichen Änderung im Ablauf der peristaltischen Kontraktionswelle. Die eigenen Untersuchungen zeigen, daß entzündliche Veränderungen am Nierenbeckenkelchsystem keine Behinderung der Entleerung darstellen. Erst deren chronischer Verlauf führt zu Schädigung des umliegenden Gewebes. Wird hierbei auch die Muskulatur befallen, so kann sich dies im Sistieren eines koordinierten Ablaufes der Entleerung äußern, siehe das Beispiel der pyelonephritischen Schrumpfniere. In der Umgebung des Nierenhohlraumsystems sich abspielende destruiierende Prozesse können die nervale Versorgung unterbrechen, so daß die Schrittmachertätigkeit erlischt und es zu keiner peristaltischen Kontraktion mehr kommt. Dann sind nur mehr tonisch bedingte Formveränderungen möglich, die der Automatie der glatten Muskulatur unterliegen. Bei Hydronephrosen ist keine Schädigung der Muskulatur aber eine Störung der Innervation zu erkennen, deren Wirkung wahrscheinlich durch den hydrostatischen Druck im Nierenhohlraumssystem behindert wird, so daß nur unkoordinierbare und auf kleine Bezirke beschränkte Muskelaktionen erkennbar sind. Aus den neurohistologischen Untersuchungen bei pathologischen Zuständen wie Hydronephrose, Hydroureter usw. von RULAND geht hervor, daß nach längerem Bestehen einer Reizleitungsstörung es 1. zur Funktionsbeeinträchtigung des betreffenden Organs und 2. zu organischen Veränderungen der extramural sowie der intramural gelegenen neurovegetativen zellulären und fibrillären Elemente kommt. Deshalb kann eine Entleerungsstörung der abführenden Harnwege sowohl durch eine nervale Ursache infolge Herabsetzung der motorischen Leistung einer gesunden Niere (s. Hydronephrosen), als auch durch organische Nierenerkrankungen, z.B. Entzündungen (s. pyelonephritische Schrumpfniere) infolge Übergreifens auf die Muskulatur.

des Nierenbeckens eintreten. Beide Arten äußern sich in einer Minderung der effektiven Förderleistung des Harns von der Niere in die Blase.

Als Aufnahmefrequenz wurden 16 Bilder pro Sekunde als ausreichend empfunden. Die Auswertung der Aufnahmen erfolgte durch das Studium einzelner Filmszenen, durch Einzelauswertung und an Hand von Diagrammen.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe der Bildverstärkerkinematographie wurden Studien über den Entleerungsmechanismus an gesunden und erkrankten Nierenbeckenkelchsystemen vorgenommen. Dabei wurden folgende Ergebnisse gewonnen:

1. Die Entleerung des Nierenhohlraumsystems geschieht durch einen aktiven Kontraktionsvorgang, der sich in Form einer Peristaltik vollzieht und schon am Ureter bekannt ist.
2. Die Peristaltik nimmt ihren Ausgang von einer Initialkontraktion, bzw. einem Schrittmacher, dessen Sitz hauptsächlich an den Kelchhälsen ist.
3. Jedes Nierenhohlraumsystem besitzt mehrere potentielle Schrittmacher.
4. Die peristaltische Kontraktionswelle breitet sich von ihrem Ursprung gleichmäßig in alle Richtungen des Nierenhohlraumsystems aus.
5. Die Kontraktionswelle im Becken findet ihre kontinuierliche Fortsetzung in der Peristaltik des Harnleiters.
6. Eine Tätigkeit von Ringmuskeln ist weder am Nierenbeckenkelchsystem noch am Ureterabgang zu erkennen. Zu einer ringmuskelartigen Wirkung kommt es nur aufgrund der peristaltischen Kontraktion und der anatomischen Struktur von Kelchhälsen und Ureter.
7. Während der Entleerungsphase ist ein funktionelles Zusammenwirken aller Teile des Nierenhohlraumsystems erkennbar. Die einzelnen Funktionszustände von Kelchen und Kelchhälsen während der Entleerungsphase sind abhängig von der räumlichen Entfernung vom Schrittmacher und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kontraktionswelle.
8. Während der Ruhepause des Nierenbeckens stellen sämtliche Untereinheiten der oberen Harnwege wie Calices minores, Calices maiores, Kelchhalse, Becken und Ureter autonome Gebiete dar. Alle weisen voneinander unabhängige Tonusschwankungen und Bewegungen auf.

9. Die Entleerung der Kelche in das Nierenbecken geschieht durch eine peristaltische Kontraktion.
10. Störungen im Ablauf der Peristaltik bei erkrankten Nierenhohlraumssystemen treten erst bei Schädigung der nervalen Versorgung oder Muskulatur auf.

LITERATUR

- 1 BAENSCH: In SCHINZ, BAENSCH, FRIEDEL, Lehrbuch der Röntg. Diag., Thieme 1939
- 2 BAUER: Acta chir. scand. 1939, S. 160
zit. n. Pfeifer
- 3 BECKER, J.A. und H.POLLACK: Cinefluorographic studies of the upper normal urinary tract. Radiology 84 (1965), 886
- 4 BENJAMIN, J.A.: The use of x-ray cinematography in urological studies.
The Journal of Urology 81 (1959), 227
- 5 BENNINGHOFF, A., K.GÖBELER: Lehrbuch der Anatomie des Menschen.
6. Aufl., Urban u. Schwarzenberg, 1962
- 6 BERNIG, H. und W.RUGE: Geschlechtsbedingte Unterschiede bei der Pyelonephritis.
Münch.med.Wschr. 101 (1959), 2139
- 7 BODNER, H., ALLEN H.HOWARD, u. J.H.KAPLAN: Cinefluorography for the urologist.
J. Urol. 79 (1958), 356
- 8 BOEMINGHAUS: Zschr. f. urol. Chir. Bd. XIV (1923), 85
- 9 BOSHAMER: Med. Welt 15. Jg (1941), 1277
- 10 BÖTTGER, P.: Urogramme nach Injektion geringer Kontrastmittelmengen - Miniurogramme.
Die Med. Welt 18 (1969), 1080
- 11 BORGARD, W.: Röntgennachweis flüchtiger Nierenbeckenentleerungsstörungen.
Med. Klin. 42 (1947), 359
- 12 BORGARD, W.: Über die Beurteilung des Harnleiterabganges im Röntgenbild.
Zschr. Urol. 37 (1943), 231
- 13 BORGARD, W.: Funktionelle Pathologie des Nierenbeckens.
Klinik u. Praxis 6 (1946), 81

- 14 BOYARSKY, S. und N. KAPLAN, J. MARTINEZ, M. ELKIN:
Cinefluorography of the urinary tract
after ureteroileostomy.
The Journal of Urology 88 (1962), 325
- 15 BRANDESKY:
Zschr. urol. Chir. 39 (1934),
zit. n. Pfeifer
- 16 CAMPBELL, J. E.: A cinefluorographic analysis of normal
pyelo-ureteral dynamics.
Invest. Radiol. 1 (1966), 198
- 17 CAMPBELL, J. E.: Ureteral peristalsis in duplex renal
collecting systems.
Amer. J. Roentgenol. 99 (1967), 577
- 18 CATEL, W. und R. GARSCHÉ: Bewegungs- und Entleerungs-
vorgänge im Bereich von Nierenkelchen
und Nierenbecken.
röfo 86 (1957), 66
- 19 CEN, M. und W. DIHLMANN: Reliefdarstellung entzündlicher
Schleimhautveränderungen im Urogramm.
Röfo 109 (1968), 50
- 20 DEJDR, R. und P. ROSSMANN: Zur Frage der Beziehungen
zwischen Ergebnissen der Röntgendia-
gnostik und den Resultaten klinischer,
funktioneller sowie path.-anat. Analysen
bei der Pyelonephritis.
Radiologie 7 (1967), 228
- 21 DEJDR, R.: Die chron. Pyelonephritis in röntgeno-
logischer Darstellung.
Röfo 90 (1959), 196
- 22 DEUTICKE:
Wien. Klin. Wo. 54 (1941), 401
zit. n. Pfeifer
- 23 DÜX, A., P. THURN, B. KISSELER: Der physiologische Entleerungs-
mechanismus der Harnwege im Röntgenkine-
matogramm.
Röfo 97 (1962), 687

- 24 FISCHER, E.: Pyelosinöse Refluxes bei der Ausscheidungsurographie.
Röfo 108 (1968), 40
- 25 FOCHEM, K. und M. PERCHERSDORFER: Der Wert der Kinematographie beim Infusionspyelogramm.
Röfo 108 (1967), 47
- 26 FORTNER, H.: Die Punktweg-Methode
Z. wiss. Mikr. 1 (1933), 50
- 27 FREI, A.: Zur Röntgendiagnostik der Pyelonephritis.
Röfo 75 (1951), 452
- 28 FUCHS, F.: Hydromechanik der Nieren-Anatomie.
Zschr. urol. Chir. 33 (1931), 1
- 29 FUCHS, F.: Theorie der Harnwegefunktion.
Zschr. urol. Chir. 37 (1933), 154
- 30 GOERTTELER, K.: Verh. Anat. Ges. Breslau 1931
(Erg.-H. Anat. Anz. 72 (1931), 169
zit. n. Pfeifer
- 31 GWINN, J. L. und G. R. BARNES: Striated ureters and renal pelvis.
Amer. J. Roentgenol. 91 (1964), 666
- 32 HAEBLER: Zschr. f. Urol. XVI (1925), 332
zit. n. Pfeifer
- 33 HANLEY, H. G.: The pelvi-ureteric junction: A cinepyelography study.
Brit. J. of Urology 31 (1959), 377
- 34 HARRIS: Proc. roy. soc. med. 28 (1935), 1947
zit. n. Pfeifer
- 35 HECKENBACH: Zschr. f. Urol. (1933), 207
zit. n. Pfeifer
- 36 HEIDENBLUT, A.: Die streifige Zeichnung der oberen Harnwege im Röntgenbild.
Röfo 111 (1969), 441
- 37 HEIDENBLUT, A.: Beitrag zur Röntgendiagnostik entzündlicher Schleimhauterkrankungen von Nierenbecken und Ureter.
Röfo 92 (1960), 658

- 38 HEIDENBLUT, A.: Die Mark- und Papillennekrose der Niere.
Röfo 97 (1962), 331
- 39 HERBST, R. und P. MERIO: Studien über die Nierenbeckendynamik.
Röfo 56 (1937), 418
- 40 HORTOLOMEI und BURGELE, STREJA: Klinisches Studium über die Dynamik der oberen Harnwege.
Zschr. Urol. 30 (1936), 494
- 41 HRYNTSCHAK, Th.: Zur Anatomie und Physiologie des Nervenapparates der Harnblase und des Ureters.
II. Mitteilung: Über den Ganglienzellapparat von Nierenbecken und Harnleiter des Menschen und einigen Säugetieren.
Zschr. Urol. Chir. 18 (1925), 86
- 42 ISRAEL: Chirurgische Klinik der Nierenkrankheiten 1901
- 43 JANKER, R.: Die praktische und wissenschaftliche Verwendung der elektronischen Bildverstärkung und des Röntgenfernsehens.
Röfo 88 (1958), 377
- 44 JOHNSON, T. H.: Peristalsis of the upper urinary tract as demonstrated by new x-ray technic.
N.Y. State J. Med. 52 (1952), 189
- 45 KÄHLER, H. J.: Med. Klin. 54 (1959), 2159
zit. n. Düx
- 46 KIIL, F.: The Function of the renal pelvis and ureter.
(Saunders, Philadelphia/London 1957)
- 47 KÖNIG, K. und P. MAY: Zur Diagnostik und Therapie der Urogenitaltuberkulose.
Fort. d. Med. 85 (1967), 529
- 48 KRAUSE: Handb. d. Anat., Bd. I, (1876), 248
- 49 LAMPEN, H.: Beitrag zur Diagnostik der Pyelonephritis.
Dtsch. med. Wschr. 88 (1963), 94

- 50 LANGHAMMER, H. und G. HÖR: Zur Differentialdiagnose
röntgenmorphologischer Veränderungen
am Nierenbecken-Kelchsystem.
Röfo 111 (1969), 383
- 51 LAUBER, H. J. und F. SCHERRER: Pyeloskopische Studien über
den Entleerungsmechanismus des normalen
Nierenbeckens.
Röfo 61 (1940), 222
- 52 LEQUEU, FAY und TRUCHOT: La Pyeloscopie
N. Maloine, Paris 1927
zit. n. Pfeifer
- 53 LICHTENBERG: Handb. d. Urol. (1926), 220
zit. n. Pfeifer
- 54 LUTZEYER, W. und H. MELCHIOR: Uro-Rheographie
Der Urologe 4 (1969), 208
- 55 MAINTZ und WÜLLENWEBER: Kymographische Untersuchungen
über die Bewegungsvorgänge am gesunden
und kranken Nierenbecken und Harnleiter.
Röfo 54 (1936), 505
- 56 MELCHIOR, H. und B. TERHORST: Die Wirkung sympathicotroper
Substanzen auf die Ureterdynamik
Der Urologe 6 (1969), 348
- 57 MICHAELIS, A. R.: Research Films in Biology, Anthropology and
Medizin
Academic Press INC, New York 1955
- 58 MITSUYA, H. und J. ASAI, K. SUYAMA, E. SAI, K. HOSOE:
Cinefluorography of the upper urinary
tract.
Urol. int. 13 (1962), 236
- 59 v. MÖLLENDORFF, W.: Handbuch der mikroskopischen Ana-
tomie des Menschen
Bd. VII Springer, Berlin 1930
- 60 NOIX, M. und B. TRUCHOT: Application aux reins de la Radio-
cinematographie des tissus mous.
Journées nationales des 15, 16 et 17 oct. 58
J. Radiol. Electrol. 40 (1959), 335
- 61 OECONOMOS, Sp.: Die Schließmuskel der oberen Harnwege
und ihre Bedeutung.
Zschr. Urol. 31 (1937), 610

- 62 PASCHKIS und CANIGIANI: Röfo 50 (1934), 86
- 63 PFEIFER, W.: Grundlagen der funktionellen urologischen Röntgendiagnostik.
Georg Thieme Verlag - Stuttgart 1949
- 64 PFLAUMER: Handb. d. Urol.
Springer 1936 S. 361
zit. n. Pfeifer
- 65 PREUSSH.-J. und DECKART: Wertigkeit der Infusionsurographie und der Isotopennephrographie bei der Diagnostik von Harnwegsinfusionen bei Kindern.
Röfo 110 (1968), 39
- 66 PREVOT, R.: Zur Röntgendiagnostik der Pyelonephritis.
Radiologie 4 (1964), 29
- 67 PRIMBS: Zschr. f. urol. Chir. Bd. I. (1913), 600
zit. n. Pfeifer
- 68 PROTOPOPOW: Pflügers Arch. Bd. 66 (1913), 600
zit. n. Pfeifer
- 69 QUACK, G.: Pyelorenalereflux bei der Ausscheidungsurographie.
Röfo 91 (1959), 411
- 70 RIETHMÜLLER: Wien. Kli. Wo. 54 (1941), 401
zit. n. Deuticke
- 71 RULAND, L.: Zur Innervation des Nierenbeckens und des Harnleiters bei tonogenen Funktionsstörungen.
Zschr. Urol. 49 (1956), 697
- 72 SACK: in STUMPF, WEBER,
Weltz. Rö. Kym. Bew. Lehr. Thieme 1936
- 73 SAKATA: Arch. f. Anat. u. phys. Anat. Abt. 1908
zit. n. Pfeifer
- 74 SCHEELE, K.: Pyelographische Studien über Bewegungen der Niere, des Nierenbeckens und der Harnleiter.
Zschr. Urol. 20 (1926), 801

- 75 SCHMIDT, A.: Zur Peristaltik des menschl. Nierenbeckens.
Brun's Beitr. klin. Chir. 138 (1926), 325
- 76 SCHMIDT, H. und J. M. POLLACK, K. OSWALD: Radiologische Symptomatik der Kontrastmittelpassage d. den Ureter.
Teil I: Röfo 110 (1969), 446
Teil II: Röfo 111 (1969), 96
- 77 SCHNEIDER, W.: Zschr. Anat. Entwickl.-Gesch. 109 (1939), 187
- 78 SIELAFF, H. J.: Zur Methodik und diagnostischen Bedeutung der Uro-KINEMATOGRAFIE!
Röntg. Bl. 14 (1961), 17
- 79 SIELAFF, H. J.: Funktionsuntersuchungen des Nierenhohlraumsystems.
(Vortrag auf der Tagung der Südwestd. Röntgenologen, Stuttgart 27.4.1966)
- 80 SIMONSON, S. und S. LISOVSKAJA: Ref. Z. urol. Chir. 30 (1930), 163
zit. n. Dux
- 81 STEIGLEDER, K. G.: Konstruktionsanalytische Untersuchungen an den ableitenden Harnwegen.
Brun's Beitr. klin. Chir. 178 (1949), 623
- 82 STIEVE, F. E.: Die Röntgenuntersuchung der Niere bei Nephritis.
Die Heilkunst Heft 6 Juni 1969 82. Jhrg.
- 83 STÖHR, Ph. jr.: Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen.
Springer 1957, Bd. IV, 5. Teil
- 84 SUYAMA, K.: Cineradiographic study of upper urinary tracts.
Jap. J. Urol. 52 (1962), 468
- 85 TSUJI, J.: Renal smooth muscles
(Nankodo, Tokio 1953)
- 86 VOELKER: Zschr. f. urol. Chir. I, 118
zit. n. Pfeifer

- 87 WASSINK, W.F.: Ned. T. Geneesk. 65 (1930), 29
zit. n. H. Schmidt u. Mitarb.
- 88 WESTENHÖFER, M.: Zschr. urol. Chir. 16 (1924), 228
zit. n. Pfeifer
- 89 WIEDENMANN, L.: Die Strahlenbelastung bei der Röntgen-
kinematographie.
Vortrag auf dem Kurs in Röntgenkinematographie
Aug. 1969 Helsinki, Der Radiologe (in Druck)
- 90 WÜLLENWEBER, G.: Die Dynamik der abführenden Harnwege
im Lichte kymographischer Untersuchungen.
Zschr. Urol. 31 (1937), 339
- 91 ZANNE, D.D.: Experimentielle Studien zur Dynamik der
oberen Harnwege.
Zschr. Urol. 30 (1936), 841
II. Mitt. " " 31 (1937), 170
III. Mitt. " " 31 (1937), 463

Herrn Prof. Dr. med. H. v. Braunbehrens danke ich für die Übernahme des Korreferates und für die Möglichkeit, die Arbeit an seinem Institut durchführen zu können.

Herrn Prof. Dr. med. F. E. Stieve gilt mein besonderer Dank für die Überlassung des Themas und die Unterstützung und Beratung bei der Durchführung und Auswertung der Arbeit.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. med. K. Decker an der Universitäts-Nervenlinik München für die Genehmigung, verschiedene Geräte an seinem Institut zur Auswertung meiner Arbeit benutzen zu dürfen.

Ebenso danke ich allen Angehörigen des Rieder-Institutes, die mir jederzeit bei der technischen Durchführung der Arbeit behilflich waren.

LEBENS LAUF

Am 26. Januar 1943 wurde ich, Paul Kerscher, als sechstes Kind des Notariatamtmannes Erwin Kerscher und seiner Ehefrau Barbara, geb. Pöschl, in Moosburg, Bayern, geboren.

Im Herbst 1949 wurde ich in der Knabenschule Moosburg eingeschult. Ab 1956 besuchte ich das Deutsche Gymnasium in Freising, das ich im Sommer 1963 mit der Reifeprüfung beendete.

Anschließend leistete ich eine zweijährige Dienstzeit bei der Bundeswehr ab, die ich als Leutnant der Reserve verließ.

Seit dem Winter-Semester 1965/66 studiere ich Medizin an der Universität München. Im April 1968 legte ich die ärztliche Vorprüfung ab.

Im Sommer 1971 beendete ich das Studium mit dem Staatsexamen.

